

## 1.1.- ANTECEDENTES

Bajo la denominación específica de yogurt de acuerdo al CODEX ALIMENTARIUS, el yogurt se define como el producto de leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción de dos bacterias lácticas, *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophils* a partir de la leche pasteurizada y son responsables de la acidificación del medio. Es un alimento de alto valor nutritivo, que regularizan la flora intestinal, restablece las funciones hepáticas y es de fácil digestibilidad (FAO, 2001).

Según la historia los persas dijeron que el método de preparación del yogurt fue revelado a Abraham. En el año 1071 apareció por primera vez el origen de la palabra yogurt en un diccionario árabe-turco, pero a principios del siglo XX recién se comienza a estudiar el origen de la palabra y sus propiedades del yogurt (Herrera, 1965).

En el año 1903, el doctor búlgaro Stamen Grigoroff descubrió la bacteria causante de la fermentación láctica para obtener el producto final la cual en su honor llevó su nombre y actualmente llamada *Lactobacillus bulgaricus*. Así también Iliá Méchnikov aportó significativamente con sus investigaciones, ya que descubrió que el yogurt es un excelente agente antienvjecimiento y que las bacterias presentes en la flora intestinal contribuyen al buen funcionamiento del aparato digestivo si se ingiere de manera regular y constante este derivado de la leche (Barco, 2007).

Fue en Japón a mediados de los años ochenta del siglo XX cuando se utilizó el término de "alimentos funcionales" que surge como consecuencia del cambio de estrategia en la política nutricional de los países industrializados (Functional Food Science in Europe, 1980).

La producción mundial de leche, tiene como principal representante a la Unión Europea con 24.60 % del total producido y entre los países de Sud América, a Brasil

que ocupa el séptimo lugar a nivel mundial con 3.90 % y Bolivia ocupando así los últimos lugares con el 0.05 % del total de la producción (SENASAG, 2012).

El International Life Science Institute (ILSI Europe) en 1999, establece que: "un alimento puede ser considerado como funcional si se ha demostrado de forma satisfactoria que posee un efecto beneficioso sobre una o varias funciones específicas del organismo, más allá de los efectos nutricionales habituales, siendo esto relevante para la mejoría de la salud y el bienestar y así también para la reducción del riesgo de enfermar (Aranceta, 2009).

Es por esto que se busca introducir al mercado local yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto (*Amaranthus spp*), que tenga características nutritivas, nutracéuticas, beneficiosas para la salud, de excelente calidad y económicamente accesible para el consumidor.

El amaranto (*Amaranthus caudatus*) es el producto de origen vegetal más completo, es una de las fuentes más importante de proteínas, minerales y vitaminas naturales: A, B, C, B1, B2, B3; ácido fólico niacina, calcio, hierro y fósforo. Además, es uno de los alimentos con altísima presencia de aminoácidos esenciales como la lisina, triptófano y metionina (Asociación Mexicana de Amaranto, 2003), este contenido de proteína es inclusive superior al contenido de proteína de la leche (García y Herrerías, 1998).

Una de las características más importante del amaranto es sin duda su alto valor nutritivo y nutracéutico, ideal en anemias, desnutrición, mujeres en etapa de gestación y lactancia y niños, igualmente se debe tener en cuenta en problemas de osteoporosis porque es un alimento rico en hierro, proteínas, vitaminas y minerales (Villafuerte, \_\_\_\_).

## **1.2.- JUSTIFICACIÓN**

- El siguiente trabajo surge como una necesidad, debido al creciente interés de la población en el departamento de Tarija de tener una alimentación saludable, lo cual da lugar a incorporar al mercado regional un producto funcional probiótico, que permita mejorar la dieta alimentaria.
- Este producto surge como una alternativa para incentivar el consumo de proteína a través de las hojuelas de amaranto, para disminuir el déficit nutricional, especialmente en la población infantil debido al alto contenido proteico del amaranto.
- El consumo de este producto fuente de ácido fólico, podrá coadyuvar a las mujeres en etapa de gestación a prevenir deformaciones en la placenta que supondrían el aborto, anemia, nacimiento prematuro o presentar bajo peso y así también defectos en el nacimiento del bebé.
- Por otra parte la elaboración de este producto incentivará el consumo del escualeno a través de las hojuelas de amaranto, el cual mediante el transporte de oxígeno a las células del cuerpo humano reducirá las lipoproteínas de baja densidad, colesterol de la sangre, mejorará el sistema inmunológico e incluso prevendrá el cáncer.

## **1.3.- OBJETIVOS**

Presente trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos:

### **1.3.1.- OBJETIVO GENERAL**

Elaborar yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto mediante el proceso fermentativo, con la finalidad de obtener un producto nutricional con características funcionales.

### **1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la composición fisicoquímica y microbiológica del yogurt, con la finalidad de conocer su composición.
- Determinar las variables del proceso fermentativo del yogurt como ser acidez, temperatura y tiempo, para conocer las condiciones del proceso.
- Determinar la cantidad de hojuelas de amaranto a ser agregado en el proceso para obtener un producto con características funcionales.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del producto terminado, con la finalidad de conocer la composición del yogurt enriquecido con hojuelas de amaranto.
- Identificar la acidez durante el proceso de almacenamiento, con el fin de valorar al producto terminado.
- Elaborar la curva de fermentación pH vs tiempo y acidez (°Dornic) vs tiempo del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.
- Realizar el análisis sensorial para determinar las propiedades organolépticas y de aceptabilidad del yogurt probiótico con hojuelas de amaranto.

#### **1.4.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

- Debido que en el mercado local no existe yogurt probiótico con hojuelas de amaranto, surge la idea de incorporar un producto con características funcionales, que ejerza una acción beneficiosa desde el punto de vista intestinal y así también que reduzca el riesgo de padecer una enfermedad como ser: anemias, desnutrición en niños, mujeres en etapa de gestación y lactancia, igualmente se debe tener en cuenta en problemas de osteoporosis.
- En nuestra región el consumo diario de alimentos ricos en proteínas y aminoácidos esenciales (lisina) no es constante ni menos importante porque la mayoría de los consumidores no le da importancia, es por esto que surge este producto como una alternativa para incentivar el consumo de los mismos, a través del amaranto.

#### **1.5.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál será el método de fermentación a utilizarse para la elaboración del yogurt enriquecido probiótico con hojuelas de amaranto como fuente de proteína y aminoácidos esenciales (lisina) para obtener un producto nutricional con características funcionales?

#### **1.6.- FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL**

Mediante el control de las variables del método fermentativo y la incorporación de la cantidad de las hojuelas de amaranto, se podrá obtener un producto probiótico con características funcionales.

## **2.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LECHE FERMENTADA**

Dentro de la denominación de leche fermentada, se incluyen todos aquellos productos que proceden de la leche, generalmente de vaca, sometidos a un proceso de fermentación por adición de microorganismos que acidifican y espesan hasta darle el sabor y consistencia típica de este tipo de producto (Barco, 2007).

### **2.1.1.- DEFINICIÓN DE YOGURT**

Bajo la denominación específica de yogurt de acuerdo al CODEX ALIMENTARIUS, el yogurt se define como el producto de leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción de dos bacterias lácticas, *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophils* a partir de la leche pasteurizada y son responsables de la acidificación del medio. Es un alimento de alto valor nutritivo, que regularizan la flora intestinal, restablece las funciones hepáticas y es de fácil digestibilidad (FAO, 2001).

Según (Barco, 2007), los dos microorganismos anteriormente mencionados consiguen que el producto tenga:

- Una acidez que dificulte el crecimiento de microorganismos alterantes.
- Que el número alcanzado sea elevado, lo que impide la existencia de otros microorganismos.
- Que además tenga un sabor ácido suave y agradable.

### **2.1.2.- CLASIFICACIÓN DEL YOGURT**

Según (Veisseyre, 1990), el yogurt se clasifica según su consistencia y sabor:

➤ **Según su consistencia**

1. Yogurt firme
2. Yogurt batido
3. Yogurt líquido

➤ **Según su sabor**

1. Yogurt natural
2. Yogurt con frutas
3. Yogurt aromatizado

### 2.1.3.- VALOR NUTRICIONAL DEL YOGURT

Para (Porter, 1981), el valor nutritivo del yogurt está relacionado con la leche que se utiliza, por tanto el yogurt tiene más proteínas, tiamina y riboflavina que la leche, pero menos vitamina A, hay poca diferencia entre el contenido de los elementos nutritivos que suministran energía de la leche y los del yogurt, pero como se agrega azúcar, el yogurt endulzado es una fuente más rica de energía que la leche.

En la tabla 2.1, se detalla el contenido nutricional de yogurt por 200.00 g, según (Keating y Gaona, 1999).

**Tabla 2.1**  
**Contenido nutricional del yogurt**

Componentes	Valor	Unidad	Cantidad diaria recomendada	
			Hombre	Mujer
Valor energético	122.00	Kcal	-	-
Proteínas	3.30	%	-	-
Grasas totales	3.50	%	-	-
Carbohidratos	4.00	%	-	-
<b>Minerales</b>				
Calcio	415.00	mg	800.00	800.00
Hierro	0.18	mg	10.00	18.00
Magnesio	40.00	mg	350.00	300.00
Fósforo	326.00	mg	800.00	800.00
Zinc	2.00	mg	15.00	15.00
<b>Vitaminas</b>				
Vitamina C	1.80	mg	45.00	45.00
Vitamina B2- Riboflavina	0.36	mg	1.60	1.20
Vitamina B12	12.80	mg	30.00	30.00

**Fuente:** Keating y Gaona, 1999.

El contenido de los sólidos no grasos de la leche en el yogurt es variable, pero nunca debe ser menor de 8.50 % de lo contrario el producto puede tener una consistencia demasiado suave y estructura del gel muy débil. A mayor contenido de sólidos totales menor grado de sinéresis del producto. La concentración de sólidos totales también tiene relevancia nutricional, ya que al modificar la leche se incrementa el contenido de proteína y otros nutrimentos. La leche se concentra normalmente hasta un contenido de sólidos totales de 15.00 a 18.00 % (Keating y Gaona, 1999).

#### **2.1.4.- FERMENTACIÓN MICROBIANA**

La fermentación mejora el contenido nutritivo de los alimentos por la biosíntesis de las vitaminas, aminoácidos esenciales y proteínas, ya que al volverse digeribles, las proteínas y las fibras proporcionan más micronutrientes degradando los factores anti nutritivos (Romero, 2000).

##### **2.1.4.1.- FERMENTACIÓN ÁCIDO LÁCTICA**

La fermentación láctica es el proceso efectuado por las bacterias *Streptococcus thermophilus* y el *Lactobacillus bulgaricus* en relación 1:1 (cultivos que producen polímeros extracelulares que coadyuvan a la viscosidad del yogurt) que normalmente son inducidas en forma de cultivos liofilizados de inoculación directa. El *Streptococcus thermophilus* crece con mayor rapidez que el *Lactobacillus bulgaricus* y es el responsable de la producción de ácido, mientras que el bacilo aumenta el sabor y el aroma característico. Durante la incubación ambas especies crecen en asociación: se estableció que numerosos aminoácidos liberados de la caseína por proteasas del *Lactobacillus* estimulan el crecimiento del *Streptococcus*, que a su vez, produce dióxido de carbono y ácido fórmico que estimulan al *Lactobacillus*. Durante la primera parte del proceso el *Streptococcus* crece más rápido y remueve el exceso de oxígeno, luego su crecimiento se reduce por la producción de ácido láctico. Por lo tanto, el crecimiento de ambos microorganismos en asociación da como resultado la producción de ácido láctico y acetaldehído a una



velocidad mayor y en mayor cantidad que la correspondiente a cada uno de ellos cuando crecen por separado (Blasco, 2002).

Según (INLAC, 2006), la fermentación ácido láctica, es la responsable de la producción de productos lácteos acidificados como el yogurt, cuajada, queso, crema ácida entre otros.

### **2.1.5.- TECNOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL YOGURT**

Las consideraciones del proceso de elaboración de yogurt, son aplicables a otros tipos de leches fermentadas. Cuya descripción se detalla de la siguiente manera:

#### **➤ Recepción y control de materia prima**

Es la primera etapa para iniciar el proceso de obtención del yogurt, en esta etapa las industrias lecheras analizan rutinariamente la leche en el momento de su recepción, para asegurarse que cumple los requisitos indispensables para poder procesarla, a través del análisis sensorial y análisis fisicoquímico (Ordoñez, 1998).

#### **➤ Estandarización**

Según (Hernández, 2003), éste es un proceso que se realiza para lograr el aumento de los sólidos totales en la leche y para lograrlo se debe estandarizar la cantidad de grasa en la misma.

Para realizar el aumento de los sólidos de la leche se puede seguir distintas opciones, pero la más tradicional y conocida por todos es agregar a la leche, leche en polvo hasta alcanzar el contenido de sólidos requeridos (Hernández, 2003).

Se puede elaborar yogurt sin aumentar los sólidos totales de la leche pero el efecto negativo sería la formación del gel, característica del yogurt muy débil y se rompería con facilidad dando como resultado la separación del suero de la leche (Hernández, 2003).

### ➤ **Filtración**

La filtración, se realiza para eliminar las posibles partículas de sólidos lácteos añadidos en la fase anterior no disueltas y los grumos procedentes de la leche base. Puede hacerse de dos formas: haciendo pasar la leche a través de filtros cónicos ajustados en el interior de las conducciones, con clarificadoras centrífugas o con filtros de nylon o de acero inoxidable (Ordoñez, 1998).

### ➤ **Homogeneización**

Esta etapa consiste en someter a la leche a una temperatura de 60 °C, con el fin de disminuir el tamaño de las gotas de grasa (Hernández, 2003).

Las dos razones principales para la homogeneización de la leche, que se va a utilizar en la fabricación del yogurt son: prevenir la separación de la nata durante el periodo de incubación y asegurar una distribución uniforme de la grasa en la leche (Bylund, 1996).

Según (Hernández, 2003), el resultado es un yogurt más viscoso, más estable y con mejor propiedades organolépticas.

### ➤ **Pasteurización**

Esta etapa del proceso es la más importante, es aquí donde se determina la calidad del yogurt, las proteínas de la leche se desnaturalizan provocando la liberación de péptidos que contribuyen al crecimiento de los microorganismos inoculados los cuales actúan favoreciendo aspectos de viscosidad del yogurt y separación del suero de la leche. Además se elimina gran parte de la flora que contiene la leche dando lugar al crecimiento de microorganismos productores del yogurt (Hernández, 2003).

Se reduce la cantidad de oxígeno disuelto, con lo que se crean unas condiciones de microaerofila favorables para el crecimiento del cultivo iniciador (Ordoñez, 1998).

Según (Hernández, 2003), se puede realizar distintos tratamientos de acuerdo con el proceso de elaboración del yogurt:

- 90 a 95 °C durante un tiempo de 5 a 10 minutos
- 80 a 85 °C durante 30 a 20 minutos

Se debe considerar que el calentamiento débil de la leche genera un yogurt bajo en viscosidad, mientras que un sobrecalentamiento puede provocar una textura granulada y una tendencia a la separación del suero (Hernández, 2003).

#### ➤ **Enfriamiento**

Con el fin de que el producto tenga una temperatura adecuada al añadirle el cultivo se debe enfriar el mismo hasta una temperatura de 40 a 45 °C, tratando que sea 42 °C para mejores resultados. Esta operación debe realizarse lo más higiénicamente posible con el fin de no contaminar la mezcla además de hacerlo rápido (Aláis, 1998).

#### ➤ **Adición del cultivo iniciador**

El manejo del cultivo para la producción de yogurt requiere higiene y precisión máxima, es decir la temperatura de la leche antes de agregar el cultivo iniciador debe estar a 43 °C. La función de cualquier fermento o cultivo iniciador es descender el pH de la leche desde 6.40 – 6.70 hasta un pH de 3.80 – 4.20 y desarrollar en el producto final unas características de textura, viscosidad y sabor que correspondan a las exigencias del consumidor (Early, 1998).

Según (Blasco, 2002), los cultivos comerciales más utilizados están compuestos por *Streptococcus thermophilus* y el *Lactobacillus bulgaricus*, los cuales establecen una relación de simbiosis (Early, 1998). El *Streptococcus thermophilus* crece más rápido y produce ácido fórmico y dióxido de carbono. Estos compuestos producidos estimulan el crecimiento del *Lactobacillus bulgaricus*. Así mismo, la actividad proteolítica del *Lactobacillus bulgaricus* produce péptidos y aminoácidos que estimulan el crecimiento del *Streptococcus thermophilus* que es el responsable de la

caída inicial del pH hasta aproximadamente 5.00, entre tanto el *Lactobacillus bulgaricus* es el responsable del descenso de pH hasta 4.00.

Se utiliza para inocular la mezcla entre 2.00 – 3.00 % de cultivo formado por partes iguales de los cultivos antes mencionados. Se debe mezclar muy bien al agregar el cultivo y procurando extremar las medidas higiénicas con el fin de evitar una contaminación (Alais, 1998).

### ➤ **Fermentación**

Según (Ordoñez, 1998), para obtener yogurt suele incubarse a 42 °C, la temperatura que representa un compromiso entre la óptima de las dos especies responsables de su fermentación, 45 °C para la mayoría de las cepas (*Lactobacillus bulgaricus*) y 39 °C para (*Streptococcus thermophilus*). A esta temperatura se completa la fermentación en unas 4 horas. Es evidente que si la temperatura de incubación es menor, el tiempo necesario para completar la fermentación y obtener yogurt se prolonga.

Según (Nutrar, 2003), el yogurt como producto final debe contener bacterias lácticas vivas en un mínimo de  $10^7$  ufc/ml, ya que manteniendo estos umbrales mínimos irá en beneficio del consumidor, especialmente favoreciendo a aquéllos que tienen problemas para digerir la leche por intolerancia a la lactosa.

Al agregar el cultivo a la mezcla de yogurt, las bacterias comienzan a reproducirse. Estas bacterias al multiplicarse comienzan a fermentar la lactosa, convirtiéndola en ácido láctico. La acidificación hace que la leche se coagule y se obtenga una mejor consistencia. Esta coagulación se produce a causa de la pérdida de estabilidad de la caseína (Pazmiño, 2002).

Según (Hernández, 2003), los efectos de la acidez y el pH en el proceso fermentativo son:

- La acidez favorece a la hidratación de las proteínas por tanto una acidez insuficiente con  $\text{pH} > 4.60$ , influye desfavorablemente en la consistencia.
- Un  $\text{pH} 4.60$  o inferior contribuyen a la deshidratación de las proteínas y por tanto a la consistencia del yogurt, pero una acidez demasiado elevada,  $\text{pH} < 4.00$  favorece la contracción del coágulo, lo que se traduce en aumento de sinéresis.

#### ➤ **Enfriamiento**

Una vez alcanza la acidez deseada se frena el proceso de fermentación disminuyendo la temperatura para evitar que la fermentación continúe ya que los microorganismos causantes de la misma, no son capaces de crecer a temperaturas inferiores que  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Hernández, 2003).

Se procede a llevar al yogurt a refrigeración a una temperatura de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  o  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , esto brinda un efecto positivo ya que aumenta la firmeza del gel del yogurt (Hernández, 2003).

#### ➤ **Envasado**

El envasado es una etapa muy importante del proceso de elaboración de yogurt. (Paine, 1979), definió al envasado de alimentos de la siguiente manera: el envasado es una forma de asegurar la distribución del producto hasta el consumidor final en adecuadas condiciones y con un mínimo costo.

Por otra parte, los materiales de envasado en contacto directo con los alimentos debe ser atóxico y químicamente inertes, es decir, no reaccionar con el producto que contienen, deben ser resistentes a los ácidos, evitar la pérdida de sustancias volátiles responsables del aroma del producto e impermeables al oxígeno. Por estas razones los plástico son utilizados en la industria láctea y, debido a la naturaleza ácida del

producto, el material más adecuado para las tapas son las láminas de aluminio (Ordoñez, 1998).

Según (Tamine y Robinson, 1991), entre los distintos materiales que pueden ser utilizados para yogurt, se incluye al polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y cloruro de polivinilideno (PVDC).

#### **2.1.6.- DEFECTOS COMUNES EN EL YOGURT Y CAUSA POSIBLE DE LOS MISMOS**

Según (Gil, 2010), los problemas que puede presentar el yogurt se relacionan más con alteraciones en sus características físicas y sensoriales, que por contaminación microbiológica. Las variables que afectan a estas propiedades incluyen las variaciones en materia prima, el contenido de proteína y de iones, la homogeneización, el tratamiento térmico, el cultivo utilizado, el mecanismo de manejo del coágulo y la presencia de estabilizadores, entre otros.

Según (Mahaut, et al, 2004), los problemas durante la elaboración del yogurt pueden clasificarse en: defectos del aspecto, textura y sabor.

##### **2.1.6.1.- DEFECTOS DEL COLOR**

Para reforzar, corregir o imitar un color natural, se dispone de productos naturales, como el caramelo de azúcar y productos artificiales. Estos últimos se dosifican en pequeñas cantidades, ya que poseen un gran poder de coloración y sólo se pueden utilizar los colores autorizados. Los principales defectos de color son: color desigual debido a la mala distribución de los ingredientes en el momento de colorear la mezcla, mala distribución del colorante; color no natural, debido al empleo de colorantes inadecuados y materias extrañas; poco color, falta de colorante; puntos pigmentados, colorantes no disueltos totalmente o a material insoluble del colorante, que hay que filtrar (Cabrera, 2001).

### 2.1.6.2.- DEFECTOS DEL SABOR

Según (Black, 1990), señala que los defectos del sabor del yogurt son corrientes, de la misma manera que lo son para cualquier producto lácteo.

La falla más corriente puede ser la ausencia del sabor y aromas típicos. Dando por supuesto que el cultivo madre contenga el equilibrio deseado de cocos y bacilos, la formación insuficiente de sabor en el producto final suele ser resultado de la producción inadecuada de ácido. La formación óptima de sabor no se alcanza sino hasta que la acidez llega a alrededor de 0.85 %, pero la maduración muy por encima del 0.95 % da un producto demasiado ácido. Los compuestos aromáticos se forman en una escala considerablemente amplia de acidez. La ausencia del sabor y aroma típicos del yogurt puede ser también resultado del empleo de cepas de *Lactobacillus bulgaricus* que produzcan cantidades excesivamente pequeñas de sustancias aromáticas y de sabor (Black, 1990).

Los sabores poco puros y los amargos del yogurt son resultado, a veces, de haber utilizado leche de poca calidad o un iniciador contaminado. Ciertas cepas de *Lactobacillus bulgaricus* puede dar sabor amargo (Cotescu, 1984).

Según (Cabrera, 2001), el sabor es el factor más importante de la calidad desde el punto de vista de la aceptación del consumidor. Los defectos causados por el material saborizante pueden considerarse como:

- **Mucho sabor**, debido a dosis excesiva de material saborizante o al empleo de aromas de poca calidad. En ambos casos puede impartir al yogurt un gusto picante o amargo.
- **Poco sabor**, debido a la falta de material saborizante o a alguna sustancia que interfiere el sabor.
- **Sabor áspero (agrio)**, defecto debido al empleo de sustancias aromatizantes de poca calidad, aunque puede ser debido en algunos casos a exceso de sabor y a la fracción terpénica de algunos aromas

- **Sabor no natural**, cuando el sabor no es característico del tipo de yogurt. Puede ser debido al empleo de algunos aromas sintéticos, como el de vainilla o a imitaciones poco perfectas.

### **2.1.6.3.- DEFECTOS DE LA TEXTURA**

La textura se refiere al grano o a la más fina estructura del producto y depende del tamaño, forma y disposición de las pequeñas partículas. La textura ideal debe ser suave y las partículas sólidas lo suficientemente pequeñas para no ser detectadas en la boca, mientras que la textura mantecosa se manifiesta por grumos de grasa en el paladar y los dientes después de haber consumido los productos lácteos. Este defecto es debido al exceso de materia grasa, por una incorrecta homogeneización, especialmente por falta de agitación durante la adición, poco contenido de sólidos de suero y/o una acidez alta. La textura arenosa la causa la cristalización de la lactosa, defecto que puede controlarse reduciendo los sólidos de suero, constituyendo parte del azúcar por dextrosa, manteniendo temperaturas de almacenaje bajas y uniformes; y controlando la acidez (Cabrera, 2001).

### **2.2.- YOGURT PROBIÓTICO**

El yogurt probiótico es un yogurt suave, con cultivos de bacterias probióticas, que se obtiene por acidificación de la leche mediante la fermentación producida por bacterias ácido lácticas que producen como mínimo el 95.00 % del ácido láctico dextrógiro L (+) del ácido láctico total. La mejor comprensión del papel que desempeñan los microorganismos en la alimentación humana ha permitido el desarrollo de un nuevo tipo de producto, los llamados “alimentos funcionales” (Bioforce y Vogel, 2008).

Los alimentos probióticos contienen microorganismos que influyen positivamente en el bienestar, gracias a que mejoran el equilibrio microbiológico de la flora intestinal (Bioforce y Vogel, 2008).



### 2.2.1.- INFORMACIÓN NUTRICIONAL DEL YOGURT PROBIÓTICO

En la tabla 2.2, se muestra la composición nutricional del yogurt probiótico por cada 100 gramos.

**Tabla 2.2**  
**Composición nutricional del yogurt probiótico**

<b>Componentes</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidad</b>
Valor energético	88.00	Kcal/KJ
Carbohidratos	16.00	g
Proteínas	2.70	g
Grasas totales	1.50	g
Grasas saturadas	0.90	g
Sodio	47.00	mg
Vitamina B2	0.14	mg
Vitamina B12	0.33	µg
Calcio	108.00	mg

**Fuente:** Danone, 2002-2005.

### 2.2.2.- DIFERENCIA ENTRE PROBIÓTICO Y PREBIÓTICO

A continuación se describe la diferencia que existe entre probiótico y prebiótico.

#### 2.2.2.1.- PROBIÓTICO

Según (Tello, et al, 2000), un probiótico, es un microorganismo vivo que, al ser ingerido en cantidades suficientes, ejerce un efecto positivo en la salud, más allá de los efectos nutricionales tradicionales. Las leches fermentadas pueden ser útiles como probióticos; ya que provee tanto bacterias vivas benéficas como productos de fermentación que pueden afectar de manera positiva a la flora intestinal.

Según (Lee y Salminen, 1995), un alimento probiótico es aquel que cumple una serie de requisitos muy específicos, tales como:

- Los microorganismos que lo componen deben sobrevivir al ambiente ácido del estómago, a la presencia de sales biliares y al proceso digestivo.
- Sus componentes deben ser capaces de colonizar el intestino y formar una barrera protectora contra bacterias patógenas como la *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphilococcus*, *Cándida*, entre otros.
- Debe ayudar a metabolizar los carbohidratos y a absorber las vitaminas en el tracto intestinal.
- Debe disminuir y prevenir el riesgo de contraer enfermedades además de mejorar el estado de salud.

Según (Farland, 2000), las bacterias probióticas estimulan las funciones protectoras del sistema digestivo, es así que el efecto protector de estos microorganismos, se realiza mediante dos mecanismos: el antagonismo que impide la multiplicación de los patógenos y la producción de toxinas; que imposibilitan su acción patogénica. Este antagonismo está dado por la competencia por los nutrientes o los sitios de adhesión. Mediante la inmune-modulación protegen al huésped de las infecciones, induciendo a un aumento de la producción de inmunoglobinas, aumento de la activación de las células mononucleares y de los linfocitos.

#### **2.2.2.2.- PREBIÓTICO**

Por otro lado según (Roberfroid, 2005), un prebiótico son hidratos de carbono, no digerible, no absorbibles y fermentables por las bacterias del colon, incluidos dentro de la clasificación de fibra dietética, la misma que produce un efecto beneficioso en el hospedador al estimular el crecimiento selectivo y/o la actividad metabólica de un número limitado de bacterias en el colon, es decir los prebióticos constituyen el sustrato fundamental (el alimento) de las bacterias probióticas.

Según (Roberfroid, 2005), para que un ingrediente alimenticio pueda ser clasificado como prebiótico, debe cumplir los siguientes criterios:

- No debe ser hidrolizado u absorbido en la parte superior del tracto gastrointestinal, es decir, deben llegar intactos al intestino.
- Debe ser de origen vegetal.
- Debe ser un sustrato selectivo tanto para uno o varios microorganismos benéficos al colon, que son estimulados en su crecimiento y/o metabólicamente activos.

### **2.3.- BENEFICIOS DE LAS BACTERIAS PROBIÓTICAS EN EL SER HUMANO**

Según (Briancon, 2010), en el intestino existe lo que se denomina flora microbiana normal, esta flora microbiana consiste en varios tipos de microorganismos, que no son patógenos para el ser humano, es decir, en condiciones normales no causan enfermedad. En medicina se las toma en cuenta como una barrera más de defensa en el intestino, siendo que estas bacterias de la flora microbiana normal, por mecanismo de competitividad, eviten que otros microorganismos causen enfermedad al ser humano.

#### **2.3.1.- MEJORA DE LA FUNCIÓN DE LA BARRERA INTESTINAL**

Según (Ohland y MacNaughton., 2010), ciertos probióticos demostraron ser capaces de contribuir al mantenimiento de la integridad de la barrera intestinal, así como de prevenir y reparar daños en la mucosa causados por distintos agentes como alérgenos presentes en los alimentos, microorganismos patógenos y citoquinas pro inflamatorias. Los mecanismos de acción implicados en este beneficio incluyen secreción de mucina, la modulación de la fosforilación de proteínas y el aumento de la resistencia transepitelial.

### **2.3.2.- MODULACIÓN DEL SISTEMA INMUNOLÓGICO**

Ciertos componentes celulares de las bacterias probióticas actúan como inmunomoduladores, es decir que promueven el ataque inmunológico en contra de las células malignas. Los probióticos poseen la habilidad de activar los macrófagos lo que contribuye a la resistencia del huésped a los patógenos (Reid, et al, 2003).

### **2.3.3.- PREVIENE LA DIARREA**

Las bacterias lácticas inhiben el crecimiento de diversos microorganismos patógenos o dañinos, por lo que son beneficiosos en caso de diarrea de distinto origen; la que cursa a través de la toma de antibióticos, por virus o bacterias, etc. Del mismo modo los fructooligosacaridos al ser prebióticos, afectan al habitat intestinal y a la actividad de las enzimas, conduciendo a la producción de ciertas sustancias ácidos grasos de cadena corta que también inhiben el crecimiento de patógenos (Douglas, 1991).

### **2.3.4.- REDUCCIÓN DEL RIESGO DE CÁNCER DE COLON**

Los malos hábitos alimentarios inducen a la microbiota intestinal a producir sustancias con actividad carcinogénica. Según estudios demostrados encontraron que dietas suplementadas con *Lactobacillus* y *Bifidobacterias* reducen el riesgo de contraer cáncer de colon. La administración de suplementos dietéticos como oligofruktosas o inulina favorece el crecimiento de las bacterias lácticas, resultando muy eficaces para aumentar el sistema inmunológico y reducir el riesgo de cáncer de colon (Moore, 1995).

### **2.3.5.- DISMINUCIÓN DE COLESTEROL SÉRICO**

Elevados niveles de colesterol en la dieta y sanguíneo son considerados un factor de riesgo principal para enfermedades coronarias del corazón, es por esto que el consumo muy grande de productos lácteos fermentados disminuye el colesterol en el suero sanguíneo (Torres, 2002). También el uso de un simbiótico como:

*Lactobacillus acidophilus*, disminuye el nivel de colesterol y lipoproteínas de baja densidad (Ooi, et al, 2010).

### **2.3.6.- ESTREÑIMIENTO Y EXCESO DE GASES**

Tanto las bacterias lácticas como los fructooligosacáridos favorecen el equilibrio de la flora intestinal, por lo que mejoran el tránsito y la hinchazón asociada a exceso de gases (Douglas, 1991).

### **2.3.7.- DISMINUYE EL RIESGO CARDIOVASCULAR Y LA DIABETES**

Los fructooligosacáridos comparten las propiedades clásicas de la fibra, por lo que, además de regular el tránsito, contribuyen a reducir los niveles de colesterol y triglicéridos. Así como a un mejor control de la glucemia. Así mismo, el consumo de productos simbióticos, estabiliza y mejora enfermedades que afectan al intestino (Douglas, 1991).

## **2.4.- INSUMOS Y ADITIVOS PARA LA ELABORACIÓN DE YOGURT**

Los insumos y aditivos utilizados en la elaboración de yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto son:

### **2.4.1.- LECHE**

Desde un punto de vista legal, la leche fresca de vaca es el producto íntegro, no alterado ni adulterado, de ordeño higiénico regular e ininterrumpido de vacas sanas, que no contengan calostro y que esté exento de color, olor, sabor y consistencia anormales (Revilla, 2000).

Por su composición, es considerado como uno de los alimentos más completos, el cual puede cumplir todas las necesidades nutricionales en las edades tempranas de los seres vivos que la consumen (Revilla, 2000).

El valor nutritivo de la leche se deriva de su elevado contenido en grasa, proteínas, lactosa, vitaminas, minerales, los cuales son esenciales para la salud y desarrollo de la

vida humana. Además de ser un excelente alimento, se ha encontrado que la leche ayuda puede prevenir diversas enfermedades, tales como la osteoporosis, problemas cardiovasculares, entre otros (Rodríguez, et al, 2014).

#### **2.4.1.1.- VARIEDADES DE LA LECHE**

La leche se clasifica en:

- **Leche fluida o entera.-** Se entiende con este nombre a la leche a grane higienizada, enfriada y sometida a 5 °C, sometida opcionalmente a terminación, pasteurización y/o estandarización de materia grasa, la cual tiene que estar en un porcentaje de 3 % de materia grasa (Revilla, 2000).
- **Leches modificadas (descremadas – comerciales).-** Se pueden producir leches descremadas con tenor graso máximo de 0.30 % y semidescremada cuando sea mayor a 0.30 % y menor al 3.00 %.

La leche parcialmente descremada, que promedia el 1.50 % de grasa, aporta lo mismo que la leche entera, excepto por esta diferencia de contenido graso y por ende de menor cantidad de calorías (Revilla, 2000).

- **Leche en polvo.-** Las hay enteras, semidescremada y descremadas. A través de procesos técnicos el líquido se deshidrata y reduce a polvo. Para este proceso, la leche es introducida a gran presión en cámaras calientes que la deshidratan. Así, se forma una nube de pequeñas gotas de leche que se deshidratan instantáneamente y que se ha denominado sistema Spray (Revilla, 2000).
- **Leche condensada.-** Esta variedad del producto es utilizado generalmente para repostería y no para la dieta diaria, dado su alto contenido de grasa y bajo contenido de agua. La leche condensada se obtiene a partir de la leche fluida la que se le adiciona sacarosa y glucosa. Su concentración se logra al vacío y con temperaturas no muy altas. De esta forma se logra la evaporación de agua quedando como resultado un producto viscoso. Esta variedad del producto

tiene un mínimo de 7.00 % de grasa y no más de 30.00 % de agua (Murad, 2009).

- **Leche cruda.-** Es la leche entera que no ha sido sometida a la acción del calor (Revilla, 2000).
- **Leche estandarizada.-** Es aquella leche entera cuyo porcentaje de materia grasa ha sido alterado, pudiendo ser mayor o menor que el que se tenía originalmente. El contenido de grasa debe ser ajustado como mínimo a 3.00 % (Revilla, 2000).
- **Leche semidescremada.-** Es la leche que contiene el 1.50 % de grasa, la separación se consigue por centrifugación (Revilla, 2000).
- **Leche descremada.-** Es aquella que contiene menos del 0.50 % de grasa. La leche descremada también es conocida con el nombre de suero de leche (Revilla, 2000).
- **Leche baja en grasa.-** Es toda aquella que tiene de 0.50 a 2.00 % de grasa (Revilla, 2000).
- **Leche reconstituida.-** Es el producto que resulta de mezclar leche entera en polvo con agua potable o leche descremada en polvo con grasa de leche y con agua potable, en tal proporción que semeje con la composición normal de la leche (Revilla, 2000).
- **Leche recombinaada.-** Es el producto que resulta de la mezcla de leche reconstituida con leche entera (Revilla, 2000).
- **Leche compuesta o aromática.-** Es aquella a la que se le ha agregado algún producto para darle un sabor determinado, a la leche compuesta normalmente se la conoce como leche con sabores (Revilla, 2000).
- **Leche modificada.-** Es el producto obtenido por sustitución o adición de sustancias nutritivas con el objetivo de alcanzar una composición adecuada a los requisitos nutricionales de los lactantes y niños de corta edad (Revilla, 2000).

- **Leche enriquecida.-** Es aquella que resulta de la adición de una o varias de las siguientes sustancias nutritivas naturales de la leche: vitaminas, minerales, aminoácidos y proteínas (Revilla, 2000).
- **Leche acidificada.-** Es aquella que resulta de la adición de un producto acidificante, de un proceso de acidificación por medio de cultivos lácticos o por fermentación llevada a cabo por los microorganismos que, normalmente, contiene la leche (Revilla, 2000).
- **Leche adulterada.-** Es aquella a la que se le ha añadido algo o sustraído, algunos de sus elementos. También se conoce como leche adulterada a la que contiene sustancias dañinas o tóxicas en cantidades que pueden afectar la salud del consumidor (Revilla, 2000).
- **Leche pasteurizada.-** Es la que ha sido sometida a tratamientos específicos y por tiempos determinados para lograr la destrucción de todos los microorganismos patógenos, sin alterar en forma considerable su composición, sabor y valor alimenticio (Revilla, 2000).
- **Leche homogenizada.-** Es aquella que ha sido sometida a tratamientos térmicos – mecánicos para cambiar ciertas propiedades físicas y dividir el tamaño para prolongar la estabilidad de la emulsión (Revilla, 2000).
- **Leche ultra pasteurizada.-** Es aquella que ha sido sometida a temperaturas mayores de 138 °C (Revilla, 2000).
- **Leche esterilizada.-** Es la que ha sido sometida a tratamientos térmicos específicos y por tiempos definidos para lograr la destrucción de todos los microorganismos, sin afectar en forma significativa su valor alimenticio (Revilla, 2000).
- **Leche fresca concentrada.-** Es aquella a la que se le han quitado dos terceras partes de contenido de agua y que generalmente posee cerca de 10.50 % de agua (Revilla, 2000).
- **Leche evaporada.-** Es el producto obtenido de leche entera o descremada mediante la extracción de agua, hasta dejarla en cerca de 74.00 % (Revilla, 2000).



#### **2.4.1.2.- LECHE EN POLVO**

La leche en polvo o deshidratada se obtiene mediante la deshidratación de la leche pasteurizada. Este proceso se lleva a cabo en torres especiales de atomización, donde el agua que contiene la leche es evaporada, obteniendo un polvo de color blanco amarillento que conserva las propiedades naturales de la leche fluida (después de ser reconstituida) por su composición, aroma y valor nutritivo. Este producto es de gran importancia ya que, a diferencia de la leche fluida, no precisa conservarla en frío y por lo tanto su vida útil es más prolongada (Revilla, 2000 y Murad, 2009). Según (Maupoey, et al, 2001), la leche en polvo obtenida por atomización a pesar de poseer las propiedades de la leche natural, nunca tiene el mismo sabor de la leche fresca.

#### **2.4.1.3.- TIPOS DE LECHE EN POLVO**

Según (Varnam y Sutherland, 1995), existen cuatro tipos de leche en polvo:

- Leche en polvo entera
- Leche en polvo enriquecida en grasa
- Leche en polvo semidescremada
- Leche en polvo descremada

Este trabajo de investigación solo se enfoca en lo que se refiere a la leche en polvo entera instantánea, ya que esta es el insumo que se utiliza en el proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

#### **2.4.1.4.- LECHE ENTERA EN POLVO INSTANTÁNEA**

La leche entera en polvo instantánea es el producto obtenido por la deshidratación de la leche previamente estandarizada hasta el 3.60 % de materia grasa y concentrada hasta un contenido de sólidos totales del 45.00 al 50.00 %, mediante procesos tecnológicamente adecuados; con el agregado de lecitina como emulsificante en una proporción máxima de 5.00 g/Kg (Varnam y Sutherland, 1995).

La finalidad de realizar el proceso de evaporación de la leche es disminuir la disponibilidad del agua para las reacciones enzimáticas y de crecimiento microbiano (Barbosa y Barletta, 2000).

#### **2.4.1.5.- ESPECIFICACIONES ORGANOLÉPTICAS DE LA LECHE ENTERA EN POLVO INSTANTÁNEA**

Según (Industrias Lácteas S.A, 2011), las características organolépticas a tomar en cuenta son las siguientes:

- La leche en polvo debe tener una composición uniforme
- El color debe ser blanco crema sin partículas oscuras o quemadas
- El polvo debe fluir libremente y no debe tener grumos
- La leche entera en polvo instantánea debe estar libre de cualquier partícula
- El sabor y el olor de la leche en polvo instantánea y reconstituida debe ser dulce, libre de olores (rancidez) y sabores extraños

#### **2.4.1.6.- VARIABLES QUE AFECTAN LAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LA LECHE EN POLVO**

Las características del producto deshidratado, su composición y las condiciones empleadas en el proceso de secado como el flujo, temperatura de alimentación, tipo de atomizador, temperatura y humedad del aire utilizado para la deshidratación tienen un notable efecto en las propiedades físicas y químicas del polvo obtenido. A parte de la humedad, otras de las características importantes son el tamaño de la partícula, densidad aparente y su capacidad de reconstitución (Baker, 1997).

El tamaño de la partícula es una de las características de mayor importancia, ya que de ella dependen muchas de las propiedades de la leche en polvo, como su facilidad de recuperación, manejo, envasado, y de su solubilidad en agua (Geankoplis, 2006).

Según (Westergaard, 2004), los factores más importantes a tomar en cuenta en el proceso de secado de la leche en polvo son:

- Temperatura del aire de secado
- Contenido en sólidos del producto a secar
- presión de atomización
- Viscosidad de la leche

#### **2.4.1.7.- ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS DE LA LECHE ENTERA EN POLVO INSTANTÁNEA**

Según (Grosch, 1997), establece que el límite máximo de humedad en la leche entera en polvo instantánea es de 3.50 %, que el porcentaje de las proteínas expresadas en sólidos lácteos no grasos debe de ser de 34.00 % mínimo, la grasa butírica no debe ser menor a 26.00 %. El porcentaje en minerales o cenizas generalmente es de 7.00 %.

Según (Grosch, 1997), las proteínas no siempre son expresadas en sólidos lácteos no grasos, la mayoría de los autores la expresan como porcentaje de proteínas totales de la leche.

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

**Tabla 2.3**  
**Composición química de la leche entera en polvo instantánea**

<b>Componentes</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidad</b>
Agua	3.50	%
Proteínas totales	25.20	%
Grasa	26.20	%
Lactosa	38.10	%
Cenizas (minerales)	7.00	%

**Fuente:** Grosch, 1997

Según (Grosch, 1997), para medir las pruebas físicas de la leche en polvo es necesario rehidratarla, la cual señala que la densidad de la leche entera rehidratada a 15 °C debe ser de 1.029 g/ml mínimo y que la acidez expresada como ácido láctico debe oscilar entre (0.90 y 1.50) g/l.

#### **2.4.1.8.- ASPECTOS NUTRITIVOS**

El contenido de nutrientes en la leche en polvo depende de las pérdidas causadas durante los procesos de concentración y desecación. También se ocasionan pérdidas durante el almacenamiento, las mismas son pequeñas debido a la baja humedad relativa del producto y las temperaturas de almacenamiento (Varnam y Sutherland, 1995).

#### **2.4.1.9.- MICROBIOLOGÍA DE LA LECHE EN POLVO**

Según (Varnam y Sutherland, 1995):

- La baja actividad de agua ( $a_w$ ) de la leche en polvo (0.60) hace que esta sea un medio de cultivo no muy apto para el crecimiento de la mayoría de microorganismos, pero los ya existentes pueden sobrevivir en ella algún tiempo.
- La microflora de la leche en polvo depende de los factores como: el número y tipo de bacterias presentes en la leche en la leche cruda, la temperatura de precalentamiento, la higiene de la planta y las condiciones de secado.

#### **2.4.1.10.- APLICACIÓN DE LA LECHE EN POLVO**

Según (Llorens, 2009), la leche en polvo, es utilizada en una amplia gama de productos que incluyen productos de panadería, confitería y sopas. También tiene uso en postres lácteos, preparados para lactantes o reconstitución casera, yogures recombinados con la finalidad de aumentar los sólidos y así mejorar su consistencia, helados y otros productos fermentados. Además puede añadirse leche en polvo a la leche fresca en los quesos con el objeto de aumentar el rendimiento del mismo.

También se puede utilizar en la elaboración de dulce de leche con la finalidad de obtener un mayor rendimiento, modificar o estandarizar la cantidad de sólidos en la leche y llegar más rápido al color deseado.

#### 2.4.2.- CULTIVOS INICIADORES

Un cultivo iniciador puede estar formado por una o varias cepas de la misma especie. Las bacterias, se seleccionan por su capacidad de producir ácido láctico a partir de la lactosa. Según (Ordoñez, 1998), en el yogurt participan las siguientes bacterias termófilas:

- ***Streptococcus thermophilus***: es una bacteria Gram positiva, no móvil, anaerobia facultativo, se desarrolla a 37 – 42 °C de temperatura pero puede resistir 50 °C e incluso 65 °C por media hora. Posee gran relevancia en la industria láctea, el *S. thermophilus* utiliza principalmente azúcares como sustrato para la producción de productos de fermentación, siendo el ácido láctico el principal, esta bacteria tiene menor poder de acidificación que el *Lactobacillus*.
- ***Lactobacillus bulgaricus***: es una bacteria láctica homofermentativa. Se desarrolla muy bien entre 42 y 45 °C, produce disminución del pH, puede producir hasta un 2.70 % de ácido láctico, es proteolítica, produce hidrolasas que hidrolizan las proteínas. Esta es la razón por la que se liberan aminoácidos como la valina, la cual es de interés porque favorece el desarrollo del *Streptococcus thermophilus*.

Según (Tamime y Robinson, 1991), estos microorganismos deben estar en el cultivo preparado y por lo tanto en el yogurt, en una relación cuantitativa de 1:1 a 2:3 aproximadamente.

Esta relación se establece esencialmente en base a tres factores (Tamime y Robinson, 1991):

- a) Cantidad inoculada
- b) Temperatura de incubación
- c) Tiempo de incubación

Después de realizada la inoculación, la relación entre microorganismos se modifica varias veces durante el transcurso de la incubación para volver a adquirir al final del proceso el valor inicial. El origen de esto se halla en las relaciones de verdadera simbiosis que se establece entre las dos especies bacterianas (Tamime y Robinson, 1991).

En esta simbiosis es el *S. thermophilus* la especie que inicia la fermentación láctica y el que se desarrolla muy intensamente hasta un pH de 5.50 la acidez, el consumo de oxígeno y la liberación de sustancias volátiles que produce, crea las condiciones ideales para que se desarrolle el *L. bulgaricus* (Tamime y Robinson, 1991).

Según (Tamime y Robinson, 1991), la actividad proteolítica, de los *Lactobacillus* estimula, a su vez, el crecimiento y la actividad acidificante de los *Streptococcus*. Los *Lactobacillus* desarrollan aparte una actividad lipolítica, por la que se liberan ácidos grasos y producen además acetaldehído, constituyéndose así en los principales productores del aroma del yogurt. La calidad de un cultivo se analiza, aparte de la relación cocos-bacilos, por el número absoluto de gérmenes.

Un buen cultivo de uso debe presentar de 2 a 4 millones de gérmenes por centímetro cubico (Tamime y Robinson, 1991).

### **2.4.3.- EDULCORANTES**

Según (Grindsted, 2000), edulcorante es una sustancia dotada de un sabor dulce cuando es usada por su acción endulzante. Los edulcorantes pueden ser muy variados, de naturaleza y origen numeroso. Se podrían dividir en dos grupos: nutritivos, los

cuales tienen un poder edulcorante inferior al del azúcar pero su carga nutritiva es mayor, por lo tanto es un ingrediente alimenticio; y los de alto poder edulcorante, los cuales no son nutritivos comparados con el azúcar pero tienen un alto poder edulcorante y no llegan a representar una carga significativa, por lo que son considerados como aditivos.

Los edulcorantes se agregan al yogurt con la finalidad de mejorar el sabor y en muchos casos para disminuir la acidez. Siendo éstas la sacarosa; pero también se pueden usar otros como el jarabe de maíz, la miel de abeja, y edulcorantes no calóricos, como ser la sacarina, ciclamato, aspartame, etc (Grindsted, 2000).

#### **2.4.4.- SABORIZANTES**

Según (Tamime y Robinson, 1991), los saborizantes son sustancias artificiales, caracterizadas por su concentrado aroma a un determinado alimento, generalmente a frutas, que se adicionan al yogurt para proporcionar un sabor y aroma más agradable.

Según (Covas, 2005), los saborizantes se dividen en función de su origen en tres grupos:

- Sustancias aromatizantes artificiales (origen químico).
- Sustancias aromatizantes idénticas a los naturales.
- Sustancias aromatizantes naturales origen natural.

#### **2.4.5.- CONSERVANTES**

La principal causa de deterioro de los alimentos es causada por la presencia de diferentes tipos de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos). El agente conservador utilizado en diferentes productos, es el sorbato de potasio (0.10 %) y benzoato de sodio. La relativa estabilidad de los yogures comparados con la leche, se debe al ácido láctico producido durante su fermentación (Fernández, 2005).

#### **2.4.6.- COLORANTES**

Son aditivos para dar al consumidor las cualidades de apetitividad y atractivo, así como también mejorar la presentación; la coloración, ya que de esto dependerá el sabor y color proporcionado al yogurt (Longo, 2004).

#### **2.5.- ALIMENTOS FUNCIONALES**

El término alimento funcional se utiliza para referirse a los alimentos, los componentes o ingredientes de alimentos, o a los productos elaborados, los cuales presentan alguna acción curativa o preventiva más allá de sus propiedades alimentarias (Casanueva, et al, 2001).

Son muchos los factores que han contribuido al interés de los alimentos funcionales. Uno de ellos es la creciente evidencia acerca del papel que juegan los factores nutricionales en el mantenimiento de la salud y prevención de enfermedades. Investigaciones científicas demostraron la importancia del consumo de frutas, vegetales y cereales para la prevención de enfermedades crónicas (García y Villaseñor, 2005).

Es por esto que el yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto, es la opción más viable para mejorar los hábitos de alimentación como un medio de prevención para mejorar la calidad de vida y prevenir ciertas enfermedades (Macedo, 2002).

##### **2.5.1.- CEREALES**

Los cereales constituyen el más importante grupo de alimentos y proporcionan cerca del 50.00 % del consumo total de proteína (Borlaug y Enkerlin, 1997). Debido a su bajo costo, disponibilidad y aceptación, los cereales son los granos de mayor consumo y representan una fracción importante en la dieta humana (Casanueva, et al, 2001).



Además del aporte calórico y proteínico, los cereales son importantes por su contenido en fibra dietética, la cual está asociada con la regulación de los niveles plasmáticos de colesterol y triglicéridos (Birketvedt, et al, 2000; Czerwinski, et al, 2004; Drzikova, et al, 2005), así como una menor incidencia de cáncer de colon (Slattery, et al, 2004).

## **2.6.- ORIGEN DEL AMARANTO**

La palabra “amaranto” viene del griego y significa “eterno, perdurable”. El amaranto (*Amaranthus spp.*) es uno de los cultivos más antiguos de América. Se dice que los primeros en utilizarlo como un cultivo fueron los mayas, posteriormente los aztecas y por último los incas (Becerra, 2000).

Según (Carpio, 2009), el grano de amaranto se domesticó en América hace más de 7000 años por culturas precolombinas. Fue cultivada y utilizada junto al maíz, frijol y calabaza por los aztecas en el valle de México, por los mayas en Guatemala y por los incas en Sudamérica tanto en Perú, Bolivia como Ecuador junto a la papa, maíz y quinua.

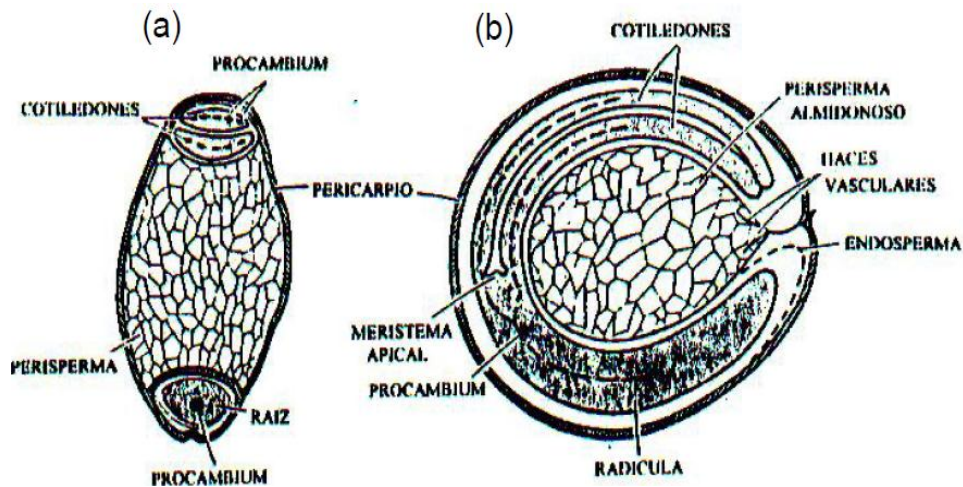
### **2.6.1.- EL AMARANTO**

El amaranto es una planta de origen andino, que pertenece a la familia de las *amarantáceas* y al género *Amaranthus*. Su nombre científico es *Amaranthus spp.* Los tipos domésticos se diferencian de los silvestres en que, en lugar de tener el grano marrón oscuro, lo tienen claro (Enciclopedia de la Agricultura y la Ganadería, 2000).

La semilla de amaranto es pequeña, lisa, brillante, de 1.00 a 1.50 milímetros de diámetro, ligeramente aplanada, y de color marrón claro, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo (Nieto, 1990). Las especies silvestres presentan granos de color negro con el episperma muy duro. En el grano se distinguen cuatro partes importantes: episperma, que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas; endosperma, que viene a ser la segunda capa; embrión, formado

por los cotiledones, que es la más rica en proteínas; y una interna, llamada perisperma, rica en almidones (Irving, et al, 1981) ( ver figura 2.1).

**Figura 2.1**  
**Sección transversal (a) y longitudinal (b) de la semilla de amaranto**



**Fuente:** Irving, et al, 1981.

Según (Irving, et al, 1981), el grano de amaranto, junto con la quinua y el trigo forrajero, son considerados como *pseudocereales*, se denominan así porque sus semillas son como de los cereales. Una de las características que lo distinguen de los demás cereales es que no contiene gluten, son fácilmente digeribles, lo que ha provocado un auge en el consumo de estos alimentos en los últimos años, debido a la incidencia de la enfermedad celiaca (intolerancia al gluten).

La ventaja de los pseudocereales es que crecen en forma rustica y son adaptables a varios ambientes, es decir, son resistentes a bajas temperaturas, alta salinidad y sequías, entre otras condiciones adversas (De la Cruz y García, 2009).

Según (Estrada, et al, 2010), en la actualidad se comprobó que el amaranto posee un alto contenido nutricional, por lo tanto al ser molido no pierde ninguna de sus propiedades benéficas.

## 2.6.2.- COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL AMARANTO

El amaranto (*Amaranthus caudatus*) es el producto de origen vegetal más completo, es una de las fuentes más importante de proteínas, minerales y vitaminas naturales: A, B, C, B1, B2, B3; ácido fólico niacina, calcio, hierro y fosforo. Además, es uno de los alimentos con altísima presencia de aminoácidos esenciales como la lisina, triptófano y metionina (Asociación Mexicana de Amaranto, 2003), este contenido de proteína es inclusive superior al contenido de proteína de la leche (García y Herrerías, 1998).

El amaranto puede suplir a varios cereales como el maíz, arroz y trigo, por su contenido de lisina (García y Herrerías, 1998).

El cultivo de amaranto (*Amaranthus caudatus*) es de gran interés para la nutrición humana, comunidad científica, industria de alimentos y los consumidores por sus características agronómica de adaptabilidad, nutricional, funcional y tecnológico. El conocimiento de sus componentes, los procesos de obtención, su característica fisicoquímica y sus propiedades funcionales constituye un factor clave de nuevos procesos y alimentos (Castel, 2010).

En la tabla 2.4, se muestra el contenido de proteína del amaranto en comparación con otros cereales (g/100 g de parte comestible), según (Tapia y FAO, 2000).

**Tabla 2.4**  
**Contenido de proteína del amaranto comparado con los principales cereales**

Cereal	Rango	Unidad
Amaranto	13.60 – 18.00	g
Cebada	9.50 – 17.00	g
Maíz	9.40 – 14.20	g
Arroz	7.50	g
Trigo	14.00 – 17.00	g
Centeno	9.40– 14.00	g

**Fuente:** Tapia y FAO, 2000

La digestibilidad que posee este grano alcanza entre el 80.00 y el 92.00 % (García y Herrerías, 1998).

El amaranto en comparación con la quinua tiene la ventaja de no contener saponinas, por lo que no necesita un proceso de saponificación y a su vez no representa un riesgo para el consumo ni para el medio ambiente (INIAP, 2008).

En la tabla 2.5, se presenta el análisis nutricional que según (Tapia y FAO, 2000), posee la semilla de amaranto por cada 100.00 g de parte comestible y en base seca.

**Tabla 2.5**  
**Composición química de la semilla de amaranto**

<b>Componentes</b>	<b>Rango</b>	<b>Unidad</b>
Proteína	12.00 – 19.00	g
Carbohidratos	71.80	g
Lípidos	6.10 – 8.10	g
Fibra	3.50 – 5.00	g
Cenizas	3.00 – 3.30	g
Energía	391.00	Kcal
Calcio	130.00 – 164.00	mg
Fósforo	530.00	mg
Potasio	800.00	mg
Vitamina C	1.50	mg

**Fuente:** Tapia y FAO, 2000.

En la tabla 2.6, se muestran el valor nutricional por 100.00 g que según (Tapia y FAO, 2000), contiene el producto fresco.

**Tabla 2.6**  
**Valor nutricional del producto fresco**

<b>Componentes</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Energía	377.00	Kcal
Hidratos de carbono	65.40	%
Proteínas	15.00	%
Grasas	7.20	%
Fibra	6.70	%

**Fuente:** Tapia y FAO, 2000.

### **2.6.3.- APLICACIÓN DE PROCESOS A LOS GRANOS DE AMARANTO**

Según (Bressani, 2006), al grano de Amaranto, se le puede aplicar distintos procesos de cocción, cocción húmeda, nixtamalización (cocción alcalina), expansión, laminación, malteado, fermentación sumergida y combinación de procesos para convertirlo en harina para la preparación de otros alimentos, de los cuales el método más común para procesar el grano de amaranto es a través de la expansión aplicando altas temperaturas por corto tiempo. El grano se expande 5 a 6 veces en volumen y ofrece de esta forma más facilidad para el consumo y una funcionalidad atractiva. Sin embargo, es fácil exceder las condiciones óptimas de procesamiento, que reducen de esta manera el contenido de lisina y a calidad de la proteína.

El laminado del grano húmedo o previamente cocido es otro proceso que da resultado de forma muy atractiva sin reducir el valor nutritivo del producto (Bressani, 2006).

### **2.6.4.- PROCESO DE HOJUELADO DEL GRANO DE AMARANTO**

El proceso de hojuelado del grano de amaranto es un atractivo importante para el mejoramiento de la calidad de la proteína del grano de amaranto, ya que con un tratamiento térmico moderado se logra mejorar la calidad de la proteína, pero cuando se aplica un excesivo tratamiento, se reduce la calidad de la misma, ya que se degrada

y al mismo tiempo se destruyen los aminoácidos esenciales. La calidad de la proteína está basada en la lisina aprovechable y en la proteína digerible (Stiebritz, et al, 1984).

En la tabla 2.7, según (INCAP, 1981), se muestra el efecto del procesamiento en la calidad de la proteína del grano de amaranto.

**Tabla 2.7**  
**Efecto del procesamiento en la calidad de la proteína del grano de amaranto**

<b>Producto de amaranto</b>	<b>Proteína digerible (%)</b>	<b>NRP (Relación de proteína neta)</b>	<b>Lisina aprovechable (%)</b>
<b>Natural</b>	72.90	2.36	0.91
<b>Hojuelas</b>	76.40	2.80	0.93
<b>Tostado</b>	59.50	1.54	0.58
<b>Caseína</b>	92.50	3.57	-

**Fuente:** INCAP (Instituto de Nutrición de América Central y Panamá), 1981.

En la tabla 2.8, según (Zamora, 1991), se muestra la composición química de los diferentes tipos de hojuelas de amaranto.

**Tabla 2.8**  
**Composición química de los diferentes tipos de hojuelas de amaranto**

<b>Productos de amaranto</b>	<b>Componentes</b>						
	<b>P.B</b>	<b>G.B</b>	<b>E.L.N</b>	<b>C</b>	<b>F.B</b>	<b>Dig</b>	<b>Unidad</b>
Amaranto sin procesar	15.51	8.36	66.68	3.10	6.35	80.48	%
Hojuelas de primera	12.25	7.85	69.86	3.11	6.94	82.33	%
Hojuelas tipo Quaker	14.94	8.29	66.69	3.13	6.95	81.08	%
Hojuelas finas	15.43	8.43	65.43	3.14	7.56	82.07	%

**Fuente:** Zamora, 1991.

Donde:

F.B = Fibra bruta

E.L.N = Elemento libre de nitrógeno

P.B = proteína bruta

G.B = Grasa bruta

Dig = Digestibilidad de la proteína

C = Cenizas

#### **2.6.4.1.- PROCESO DE OBTENCIÓN DE HOJUELAS DE AMARANTO**

Según (Zamora, 1991), para realizar el proceso de obtención de las hojuelas de amaranto, se siguen los siguientes pasos: el grano luego de ser acondicionado a una humedad de 26.00 a 28.00 %, pasa por hojuelador de rodillos lisos, calentados a una temperatura que va desde 170 a 180 °C, los cuales giran a una velocidad de 30 rpm en sentido contrario, con una separación entre rodillos lo más cerca posible, el grano es aplastado por la acción de los rodillos laminadores, luego las hojuelas producidas se adhieren a los rodillos, a las cuales se las desprende mediante la acción de una cuchilla raspadora ubicada en cada rodillo, las hojuelas caen a las bandejas receptoras a una temperatura de 65 a 70 °C, la misma que es suficiente para liberar el agua de acondicionamiento del grano la cual se completa con el reposo de las hojuelas por un tiempo determinado. Luego del reposo de las hojuelas, se procede a clasificarlas en una zaranda donde se separan las hojuelas de primera, las hojuelas tipo Quaker y las hojuelas finas.

#### **2.6.5.- OBJETIVO DEL HOJUELADO DEL GRANO DE AMARANTO**

Según (Zamora, 1991), con el hojuelado del grano se persigue los siguientes objetivos:

- Obtener un producto de mejor calidad que el grano, referente a su color, aspecto, olor, sabor, entre otros.
- Aprovechar la máxima cantidad de proteína disponible en el grano, mediante la aplicación de un tratamiento térmico rigurosamente controlado, con el fin de inhibir la mayor cantidad de constituyentes antinutricionales y de esta manera poder dejar libre a la proteína que es afectada por estos, con lo cual se

obtiene un producto de mayor propiedad proteica y más asimilables para el organismo.

- Diversificar la aplicación del grano de amaranto mediante la obtención de hojuelas precocidas de tal manera que se las pueda consumir directamente o mezclando con otros productos.

#### **2.6.6.- EL AMARANTO Y SUS BENEFICIOS NUTRACÉUTICOS EN LA SALUD**

Según (Búcaro y Bressani, 2002), una de las características más importante del amaranto es sin duda es su alto valor nutritivo y nutracéutico, ideal en anemias, desnutrición, mujeres en etapa de gestación y lactancia y niños, igualmente se debe tener en cuenta en problemas de osteoporosis porque es un alimento rico en hierro, proteínas, vitaminas y minerales.

Según (Villafuerte, \_\_\_\_), la calidad del contenido proteínico mayoritario puede compararse en varios parámetros a la de la proteína de la leche, la caseína, que se considera nutricionalmente la proteína por excelencia; la principal proteína en el amaranto es la amarantina es superior nutricional y funcionalmente a cualquier otra proteína vegetal. Pero además, lo interesante es su buen equilibrio a nivel de aminoácidos y el hecho de que tenga lisina que es un aminoácido esencial en la alimentación humana y que no suele encontrarse en la mayoría de los cereales. Los niveles de lisina son superiores a los de todos los cereales.

La presencia de ácidos como el linolénico y el linoléico son de interés vital para el ser humano, porque proveen de energía, bajan el colesterol, inhiben la producción de coágulos en la sangre y disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares. El aceite de amaranto se dice que contiene altas concentraciones de tocotrienoles, formas raras de vitamina E que inhiben las enzimas dominante reguladora de la biosíntesis del colesterol. Además, se ha encontrado que la grasa de amaranto contiene una mayor cantidad de escualeno, isoprenoides que otras grasas vegetales comunes. El escualeno es un tipo de grasa que solo se encuentra en ballenas y



tiburones, es un precursor biológico de los esteroides, y su contenido en el grano aumenta la importancia nutricional del amaranto. El escualeno aumenta el suministro de oxígeno a las células del cuerpo humano. Esta función de transportar el oxígeno desempeña un papel clave en la reducción de lipoproteínas de baja densidad, colesterol de la sangre, mejora el sistema inmunológico e incluso previene el cáncer (Bodroza y Solarov, 2008).

El grano de amaranto es un alimento nutracéutico que cumple múltiples funciones curativas en nuestro organismo, es de gran importancia por su alto contenido en fibra, superando a otros cereales por eso es recomendado e indispensable para el metabolismo y la digestión regular sana, diabetes mellitus, obesidad, enfermedades cardiovasculares, hipertensión arterial, divertículos, el estreñimiento y como protección contra muchas enfermedades (Cruz, 2012). El amaranto está vinculado a disminuir las concentraciones séricas de triglicéridos y colesterol (Porr, 2009).

El grano no posee gluten por eso es recomendado para los celíacos o aquellas personas que son intolerantes a este elemento, y el cereal hecho papilla es recomendado para pacientes con problemas bucodentomaxilares, geriátricos, desnutridos y pacientes oncológicos. Por su contenido energético también es beneficioso para pacientes con requerimientos calóricos elevados enfermedades (Cruz, 2012).

Los antinutrientes, tales como los inhibidores de la tripsina y taninos, se encuentran en niveles tan bajos que no presentan un riesgo nutricional. El procesamiento térmico del grano hace inactivar a los antinutrientes lábiles al calor (Bodroza y Solarov, 2008).

En cuanto a las vitaminas el amaranto contiene riboflavina, niacina, ácido ascórbico, tiamina, biotina, ácido fólico y  $\beta$  – carotenos. En general la carencia de vitaminas conlleva la presencia de alguna deficiencia que posteriormente se convierte en enfermedad, por lo que el amaranto en la dieta puede prevenir la aparición de estas enfermedades por deficiencias vitamínicas (Ramírez, 2002).

Debido a su contenido nutritivo se recomienda incluirlo en la alimentación del niño, adolescente, mujer embarazada, adulto y anciano, para mantener un organismo sano (Santamaría, 2012).

Según (Servantes, 1986), el amaranto y la quinua poseen el mayor índice de ácido fólico, y aun después de la pérdida del mismo después del almacenamiento los índices siguieron por encima de los cereales el mismo que es primordial para las mujeres en etapa de gestación.

En cuanto a la obesidad, se encontró que el amaranto puede contribuir a la reducción del peso corporal pues se sustituye la grasa, por el extracto proteínico del amaranto, que da la consistencia al producto. De esta manera permite obtener en la industria alimentos más saludables que son una herramienta útil en el plan alimentario recomendado para bajar de peso (Servantes, 1986).

#### **2.6.7.- POSIBILIDADES DE USO DEL AMARANTO**

El amaranto tiene gran variedad de usos los cuales se presentan a continuación:

- Según (Rosales, 2000), describe que el amaranto tiene gran variedad de aplicaciones en la industria de alimentos; como grano entero, expandido o harina. Puede ser usado en productos como cereales para desayunos, recubrimiento para carnes, pescado o vegetales, golosinas, repostería, condimento de ensaladas, productos horneados y alimentos dietéticos; incluso se puede utilizar como sustituto de grasa.
- Según (Praun, 2005), la planta de amaranto también se emplea como forraje para el ganado u otros animales. Su semilla limpia y seca, se tuesta y muele para obtener harina. A la vez puede mezclarse en sopas, yogurt o granola. De igual manera sirve para elaborar pan, pasteles y galletas. Incluso se puede utilizar en la elaboración de cosméticos, colorantes e incluso plásticos biodegradables.

### 3.1.- INTRODUCCIÓN

Toda la parte experimental del trabajo de investigación “**Elaboración de yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto**”, se realizó en el laboratorio de la planta industrializadora de leche PIL Tarija S.A, ubicada en el sudeste de la ciudad de Tarija, en la zona de Morros Blancos, en el Km 2 carretera a Bermejo.

### 3.2.- DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, MATERIALES DE LABORATORIO, INSTRUMENTOS, INSUMOS, MATERIAS PRIMAS Y REACTIVOS

A continuación se describen todos los materiales, equipos, insumos, instrumentos, materias primas y reactivos que se utilizan durante la realización de la parte experimental.

#### 3.2.1.- EQUIPOS

Los equipos que se utilizan en el trabajo experimental son:

**Centrífuga:** En la figura 3.1, se muestra el equipo utilizado para determinar la materia grasa tanto de la leche reconstituida como de la mezcla de los insumos en la etapa de dosificación.

**Figura 3.1**  
**Centrífuga multiuso SuperVario-N**



**Fuente:** PIL Tarija

### Especificaciones técnicas

- **Potencia conectada:** 230 V/50-60 Hz/1200 VA
- **Peso sin carga:** 26 kg
- **Altura total con tapa:** 460 mm
- **Ø exterior:** 670 mm
- **Altura de llenado:** 370 mm
- **Intervalo de revoluciones:** 600 a 1130 rpm
- **Intervalo de temperatura:** Temperatura ambiente hasta 68 °C
- **Origen:** Alemania
- **Modelo:** 3680 - 2388
- **Marca:** Funke Gerber

**Estufa:** En la figura 3.2, se muestra el equipo que se utilizó para secar y esterilizar materiales de vidrio y metal utilizados en el proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Figura 3.2**  
**Estufa de laboratorio**



**Fuente:** PIL Tarija

**Especificaciones técnicas:**

- **Temperatura nominal:** 300°C  
572°F
- **Protección de carcasa:** IP 20
- **Temp. Dispositivo de seguridad:** DIN 12880
- **Clase:** 2,0
- **Número de artículo:** 9010 – 0082
- **Número de proyecto:** 5405194/5601143/5773287/6079403
- **Número de serie:** 13 – 20558
- **Origen:** Alemania

**Balanza de precisión:** En la figura 3.3, se muestra el equipo utilizado en el proceso, para realizar el pesado de la materia prima (leche) y el azúcar.

**Figura 3.3**  
**Balanza de precisión**



**Fuente:** PIL Tarija

### Especificaciones técnicas

- **Modelo:** Scout Pro SP6000
- **Marca:** Scout Pro
- **Capacidad máx.:** 6000 g
- **Tipo de Pantalla:** LCD de alto contraste, con 6 dígitos / 15.0 mm de altura.
- **Dimensiones del Platillo:** 16.5 cm x 14.2 cm / 12.0 cm de diámetro.
- **Unidades de Pesaje:** g, oz, t, dwt.
- **Alimentación Eléctrica:** 4 baterías alcalinas tipo "AA" y adaptador CA.
- **Temperatura de Operación:** 10 °C a 40 °C
- **Origen:** China

**Balanza analítica:** En la figura 3.4, se muestra el equipo utilizado para realizar el pesado del cultivo y las hojuelas de amaranto para el proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Figura 3.4**  
**Balanza analítica**



Fuente: PIL Tarija

### Especificaciones técnicas

- **Modelo:** AR3130
- **Marca:** OHAUS
- **Industria:** Switzerland
- **Capacidad:** 45 g
- **Densidad** = 0.001 g
- **Fuente:** 200 - 240 V 2 A 50/60 Hz
- **MB** = 45

**Termostato (Baño María):** En la figura 3.5, se muestra el equipo utilizado en la etapa de pasteurización, atemperado e inoculación en la elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Figura 3.5**  
**Termostato (Baño maría)**



**Fuente:** PIL Tarija

### Especificaciones técnicas:

- **Capacidad:** 60 litros
- Regulación digital de temperatura y tiempo
- Teclado de membrana hermético
- **Rango de T:** RT + 5 °C – 100 °C (+ / -1 °C)
- **Señal acústica sobrecalentamiento:** > 10 °C
- **Medidas útiles aprox.:** 50x30x10 cm
- **Nº de orificios:** 6
- Bomba de vaciado eléctrico

### 3.2.2.- INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

Los instrumentos utilizados en el laboratorio para el proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto son:

**Refractómetro:** En la figura 3.6, se muestra el instrumento utilizado para medir el porcentaje de sólidos no grasos de la leche reconstituida, la mezcla y del producto final.

**Figura 3.6**  
**Refractómetro**



**Fuente:** PIL Tarija

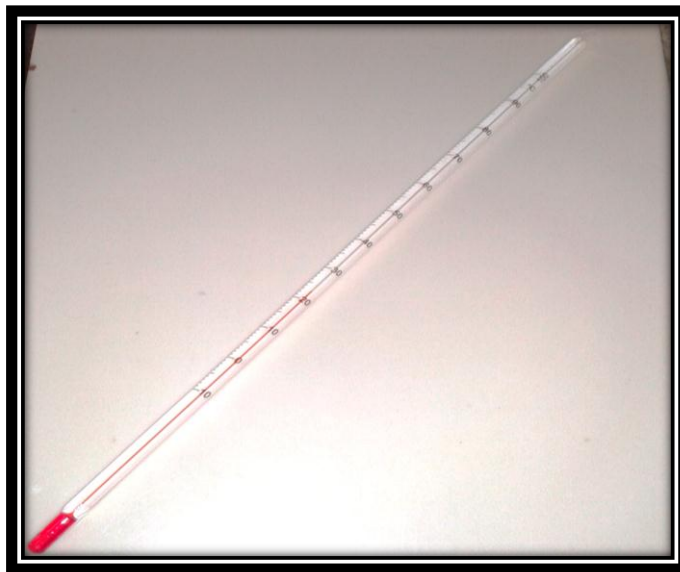


### Especificaciones técnicas

- **Escala de Medición:** Brix 0.0 a 33.0 % (Compensación automática de temperatura)
- **Escala Mínima:** Brix 0.2 %, Resolución 0.1 %
- **Exactitud de la medición:** Brix  $\pm 0.2$  % ( 10 a 30 °C )
- **Volumen de Muestra:** 10  $\mu$ l o más
- **Opcional:** tapa de luz natural especial para muestras de volumen reducido. (RE-2311-57M)
- **Clase de protección internacional:** IP65 Protección al polvo y chorros de agua (Excepto ocular).
- **Tamaño y Peso:** 3.3×3.3×20.4 cm, 160

**Termómetro:** En la figura 3.7, se muestra el instrumento que se utilizó para medir las diferentes temperaturas durante las etapas de pasteurización, enfriamiento, inoculación y fermentación.

**Figura 3.7**  
**Termómetro de alcohol**



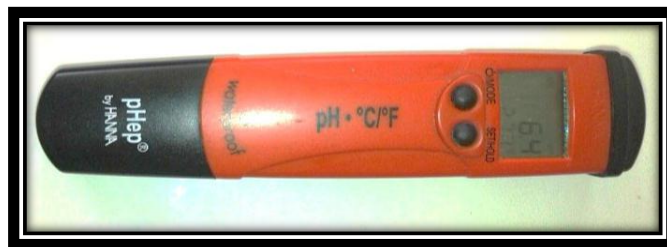
**Fuente:** PIL Tarija

### Especificaciones técnicas

- **Escala mínima:** -10 °C.
- **Escala máxima:** +110 °C.
- **División de escala:** Cada 1 °C. (un grado entre líneas de la escala)
- **Carga de líquido termo sensible a la temperatura:** Alcohol rojo
- **Medidas de los números:** Ancho 1.7 y alto 2.7 milímetros
- **Color de todos los números:** Negro con fondo de contraste Blanco
- **Peso:** 22 gramos
- **Medidas externas:** Ø 6 milímetros x aprox. 24 centímetros de largo.

**pH – metro de bolsillo:** En la figura 3.8, se muestra el instrumento que se utilizó en la etapa de fermentación y en el producto final para medir su pH.

**Figura 3.8**  
**pH – metro de bolsillo**



Fuente: PIL Tarija

### Especificaciones técnicas

- **Marca:** HANNA
- **Rango:** 0 – 14
- **Resolución:** 0.1
- **Temperatura de operación:** 0 – 50 °C
- **Calibración:** 2 puntos
- **Potencia:** DC4\*1.5 V
- **Peso:** 90 g

### 3.2.3.- MATERIALES DE LABORATORIO

En la tabla 3.1, se detallan los materiales de laboratorio que se utilizan en el proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Tabla 3.1**  
**Materiales utilizados en el proceso de elaboración del yogurt probiótico**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Calidad</b>
Pipetas	4	10.00	ml	Vidrio
Pipeta	1	1.00	ml	Vidrio
Pipeta	1	0.10	ml	Vidrio
Paleta	1	100.00	ml	Acero inoxidable
Tachos	6	5.00	l	Acero inoxidable
Jarra graduada	4	1500.00	ml	Plástico
Espátula	1	-	-	Acero inoxidable
Licuadaora	1	2.0	l	Plástica
Vaso de precipitado	1	250.00	ml	Vidrio
Probeta graduada	1	1000.00	ml	Vidrio
Colador	1	-	-	Plástico
Frascos	8	200.00	ml	Plásticos
Vasos	4	150.00	ml	Plástico

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.4.- MATERIA PRIMA

La materia prima que se utilizó, fue leche entera polvo instantánea adquirida de la planta industrializadora de leche PIL Tarija.

### 3.2.5.- INSUMOS

En la tabla 3.2. Se citan los insumos utilizados en el presente trabajo de investigación.

**Tabla 3.2**  
**Insumos utilizados en la elaboración del yogurt probiótico enriquecido**

<b>Insumos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Procedencia</b>
Azúcar	Blanca	Bolivia
Cultivos probióticos	Liofilizados	Italia
Esencia	Durazno	Argentina
Colorante	Naranja Cochinilla	Argentina

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.6.- REACTIVOS DE LABORATORIO

Los reactivos utilizados durante el proceso de elaboración del producto se detallan en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3**  
**Reactivos utilizados durante el proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido**

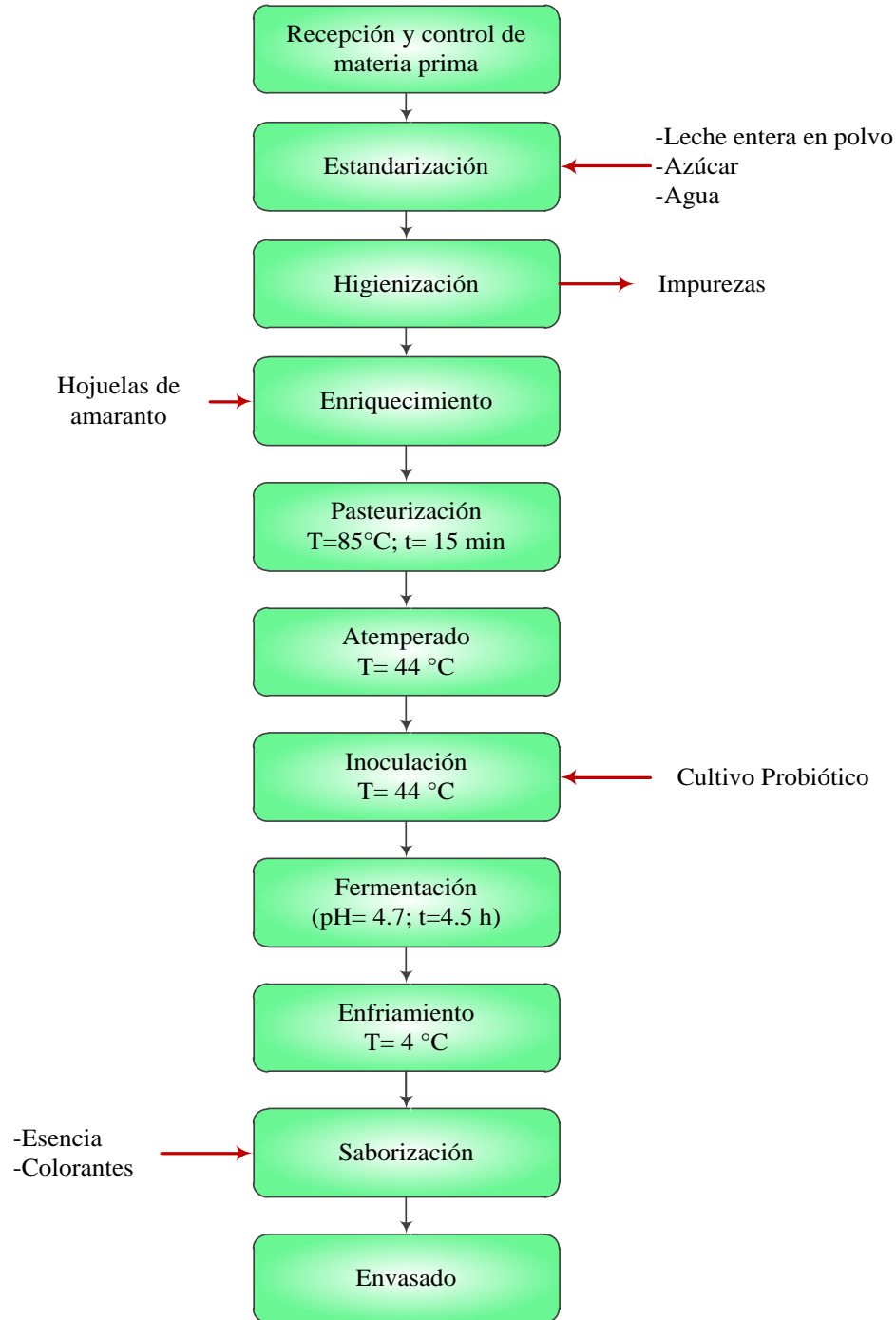
<b>Reactivos</b>	<b>Concentración</b>	<b>Unidad</b>	<b>Industria</b>
Solución de hidróxido de sodio (NaOH)	0.10	N	Argentina
Fenolftaleína	5.00	%	Alemania
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	92.00	%	Argentina
Alcohol isoamílico	88.15	g/l	Brasil

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.- METODOLOGÍA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGURT PROBIÓTICO ENRIQUECIDO CON HOJUELAS DE AMARANTO

En la figura 3.9, se muestra el diagrama de bloques que representa el proceso de elaboración de yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto. Este proceso fue adaptado, según (Ojeda, 2010).

**Figura 3.9**  
**Diagrama del proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.**



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL YOGURT

En el proceso de elaboración del yogurt es necesario controlar un gran número de factores, de esta manera se obtiene un producto de excelente calidad tanto por sus características organolépticas, como por su inocuidad para la salud del consumidor. Entre los factores a controlar se encuentran: materia prima, insumos, pasteurización, inoculación y preparación del cultivo.

El proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto consta con los siguientes pasos:

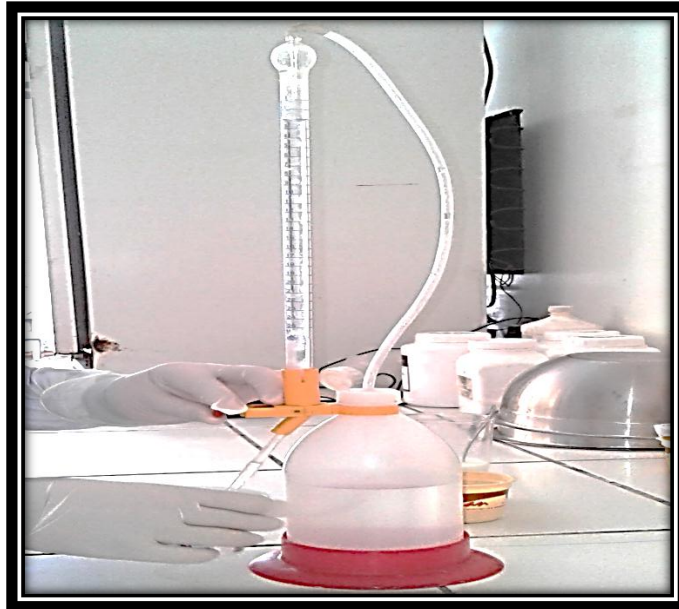
#### 3.3.1.1- RECEPCIÓN Y CONTROL DE MATERIA PRIMA

Antes de realizar el proceso de elaboración del yogurt, es necesario analizar la leche en polvo para asegurarse que esta cumpla con los requisitos indispensables:

- **Determinación de sólidos no grasos:** se realizó la determinación de sólidos no grasos (SNG) para determinar si la muestra cumplía con los requisitos legales establecidos: para establecer el rendimiento de la leche para la elaboración del producto lácteo.
- **Control de acidez de la leche en polvo:** se realizó la prueba de acidez titulable de la leche reconstituida con la finalidad de evitar su precipitación en los tachos de acero inoxidable por efecto de la temperatura. La acidez debe estar entre 10 – 13 °D, valores superiores a este indican una materia prima inadecuada e inaceptable para la preparación del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

En la figura 3.10, se muestra el control de la acidez de la leche reconstituida por el método de titulación ácido – base.

**Figura 3.10**  
**Control de la acides titulable de la leche en polvo reconstituida**



Fuente: PIL Tarija

- **Determinación del porcentaje de materia grasa:** se procedió a determinar la materia grasa de la leche ya que es importante porque influye directamente en la consistencia y textura del producto final. Para la elaboración de yogurt se utilizó leche en polvo con un porcentaje de materia grasa del 3.00 a 3.40 %.

En la figura 3.11, se muestra el control de calidad para determinar la materia grasa de la materia prima (leche reconstituida) por el método Gerber.

**Figura 3.11**  
**Determinación de materia grasa de la leche en polvo reconstituida por el método Gerber**



**Fuente:** PIL Tarija

- **Prueba de ebullición.-** Esta prueba se realizó con el fin de conocer la resistencia de la leche a un tratamiento térmico.

En la figura 3.12, se muestra la prueba de ebullición de la leche previamente reconstituida.



**Figura 3.12**  
**Prueba de ebullición de la leche en polvo reconstituida**



**Fuente:** PIL Tarija

En la tabla 3.4 se muestra los rangos establecidos de los parámetros mediante el control de calidad de la materia prima previamente reconstituida.

**Tabla 3.4**  
**Análisis de calidad de la materia prima “Leche en polvo”**

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
SNG	10.00	%
MG	3.00 – 3.40	%
pH	6.50 – 6.60	-
Prueba de ebullición	Negativa	-
Acidez	10.00 – 13.00	°D
Olor	Fresco	-
Color	Blanco	-
Sabor	Dulzón	-

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.1.2- ESTANDARIZACIÓN

Previamente al mezclado se pesó la leche en polvo instantánea y el azúcar para incorporarlos inmediatamente a una licuadora y proceder a realizar el licuado por 3 minutos aproximadamente, con el fin de asegurar una distribución adecuada de todos los ingredientes y así obtener una mezcla homogénea. Los sólidos alcanzados deben estar entre (19 – 22) %.

En la figura 3.13, se puede observar la etapa de estandarización de la mezcla base para la elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Figura 3.13**  
**Etapa de estandarización**



**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 3.5 se puede observar el control de calidad de la mezcla base del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Tabla N° 3.5**  
**Control de calidad de la mezcla base**

Parámetros	Mínimo	Máximo	Unidad
SNG	19.00	22.00	%
MG	3.00	3.40	%
Acidez	12.00	14.00	°D
pH	6.40	6.60	-

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.1.3.- HIGIENIZACIÓN

Posteriormente a la estandarización se realizó la higienización de la mezcla a través de un colador de plástico con el objeto de evitar el ingreso de partículas gruesas al proceso procedentes de los insumos.

En la figura 3.14, se puede observar la etapa de higienización de la mezcla base del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Figura 3.14**  
**Etapa de higienización de la mezcla base del yogurt probiótico**



**Fuente:** Propia

#### 3.3.1.4.- ENRIQUECIMIENTO

Se procede a agregar la mezcla higienizada a los tachos de acero inoxidable con capacidad de 5 litros en el cual se adiciona las hojuelas de amaranto. Posteriormente los tachos son sometidos a un tratamiento térmico (baño maría).

En la figura 3.15, se puede observar la etapa de enriquecimiento de la mezcla base para la elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Figura 3.15**  
**Enriquecimiento de la mezcla base**



**Fuente:** Elaboración propia

#### 3.3.1.5.- PASTEURIZACIÓN

Este proceso se lleva a cabo en un equipo de baño maría a una temperatura de 85 ° C por un tiempo de 15 minutos. La pasteurización permitió una mezcla libre de microorganismos patógenos, ayudo a disolver y combinar los ingredientes, mejoró el sabor y a la vez permitió que el producto sea uniforme.

Con el uso de esta temperatura y tiempo se buscó la coagulación de las proteínas del suero ya que en estas condiciones se estabiliza el cuerpo del producto.

En la figura 3.16, se puede observar la etapa de pasteurización de la mezcla base en el equipo de baño maría.

**Figura 3.16**  
**Pasteurización de la mezcla base**



**Fuente:** PIL Tarija

### **3.3.1.6.- ATEMPERADO**

El atemperado se realizó con el fin de que la mezcla tenga la temperatura adecuada (44 °C) para añadir el cultivo y estos se desarrollen de manera óptima. Esta etapa se realizó lo más higiénicamente posible además de hacerlo de manera rápida con el fin de no contaminar la mezcla.

En la figura 3.17, se puede observar la etapa de atemperado de la mezcla con agua fría.

**Figura 3.17**  
**Etapa de atemperado de la mezcla**



**Fuente:** PIL Tarija

### **3.3.1.7.- INOCULACIÓN**

En esta etapa se trabajó en condiciones totalmente asépticas, ya que el cultivo se hallaba conservado por liofilización por lo que se le debe reconstituir con leche previamente tratada hasta que se disuelva completamente.

Una vez disuelto completamente el cultivo, con la ayuda de una pipeta se adiciona ( $5 \times 10^{-3}$  a  $6 \times 10^{-3}$ ) % a la mezcla, inmediatamente se procede a agitar con una paleta de acero inoxidable durante 5 minutos.

La cantidad de inóculo agregado determina el tiempo de fermentación y con ello la calidad del producto. Esta etapa se lleva a cabo a una temperatura de 44 °C.

En la figura 3.18, se muestra la etapa de inoculación de la mezcla previamente pasteurizada y atemperada.

**Figura 3.18**  
**Inoculación de la mezcla**



**Fuente:** PIL Tarija

### **3.3.1.8.- FERMENTACIÓN**

Después de realizar la inoculación, se dio paso a la etapa de fermentación que inicia con el inculo de los fermentos lácticos. La temperatura del agua debe estar a 49 °C y la del medio a 44 °C por un lapso de 4.5 horas alcanzando un pH óptimo de 4.70.

Durante esta etapa, se controló la variación de pH y acidez cada media hora, mediante la titulación volumétrica con NaOH al 0.10 N hasta terminar la etapa de fermentación.

### **3.3.1.9.- ENFRIAMIENTO**

Esta etapa se realiza con la finalidad de frenar la actividad de las bacterias y enzimas para evitar que la fermentación continúe. Para lo cual, se enfrió en baño maría con agua a temperatura ambiente y finalmente se llevaron los tachos a la cámara de frio a 5 °C.

### 3.3.1.10.- SABORIZADO

El saborizado se realizó al producto refrigerado, la adición de colorantes y esencias tiene la finalidad de mejorar las características organolépticas del producto final. Dicho proceso se realizó con la ayuda de una espátula de acero inoxidable para romper la estructura del coágulo del yogurt y mezclarlo completamente con los aditivos.

En la figura 3.19, se muestra la etapa de saborización del yogurt refrigerado.

**Figura 3.19**  
**Saborización del yogurt refrigerado**



**Fuente:** PIL Tarija

El sabor de la esencia utilizada fue durazno la cantidad utilizada de la esencia varía entre (0.20 - 0.40) ml/ litro y la cantidad de colorantes utilizados fue de (0.50 – 1.00) ml/ litro; dependiendo de la intensidad de esencia y colorantes a ser adicionado.



### **3.3.1.11.- ENVASADO**

El producto terminado fue envasado en envases de plásticos con capacidad de 1 litro previamente desinfectados con Bacoxin (bactericida), para garantizar que las características del producto final tanto fisicoquímicas como organolépticas, no se alteren durante su almacenamiento.

### **3.3.1.12.-ALMACENAMIENTO**

Una vez envasado el producto, se procedió a realizar el almacenamiento que consistió en colocar los envases con el producto terminado en refrigeración (cámara de frío) a una temperatura de 4 °C; por un tiempo de 6 días para realizar un seguimiento de los aspectos de control, como ser: acidez, aroma y sabor.

## **3.4.- METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

Los métodos utilizados para cumplir con los objetivos propuestos en el presente trabajo fueron:

### **3.4.1.- DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO TERMINADO**

Las determinaciones, se realizaron tanto en la materia prima (leche en polvo instantánea y hojuelas de amaranto), como así también al producto final (yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto) (Anexo A). En la tabla 3.6, se muestran los parámetros evaluados.

**Tabla 3.6**  
**Análisis fisicoquímico de la materia prima y producto terminado**

<b>Hojuelas de amaranto</b>	<b>Leche entera en polvo instantánea</b>	<b>Yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto</b>
Materia grasa	Materia grasa	Materia grasa
Humedad	Humedad	Humedad
Fibra	-	Fibra
-	Acidez (como ácido Láctico)	Acidez
-	Sólidos totales	Cenizas
-	Solidos no grasos	Calcio total
-	-	Hidratos de carbono
Proteína total (Nx6,25)	-	Proteína total
-	-	Valor energético

**Fuente:** Elaboración propia

#### **3.4.1.1.- NORMAS Y MÉTODOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS**

En la tabla 3.7, se muestran las normas y métodos utilizados para determinar las propiedades fisicoquímicas de la leche entera en polvo instantánea.

**Tabla 3.7**  
**Normas y métodos para determinar las propiedades fisicoquímicas de la leche en polvo**

<b>Detalles</b>	<b>Norma y/o Método de ensayo</b>	<b>Método de ensayo</b>
Acidez % ácido láctico	NB 229:98	Volumétrica
Humedad	NB 231:1- 98	Gravimétrica
Materia grasa	BABCOCK	Volumétrica
Solidos no grasos	NB 706:1998	Cálculo
Solidos totales	NB 231:1- 98	Gravimétrica

**Fuente:** CEANID, 2016

En la tabla 3.8, se muestran las normas y métodos utilizados para determinar las propiedades fisicoquímicas de las hojuelas de amaranto maraca “Los Andes”.

**Tabla 3.8**  
**Normas y métodos para determinar las propiedades fisicoquímicas de las hojuelas de amaranto**

Detalles	Norma	Método de ensayo
Fibra	Gravimétrico	Digestión ácida
Materia grasa	NB 313019:06	Gravimétrica
Humedad	NB 313010:05	Gravimétrica
Proteína total(Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	Volumétrica

**Fuente:** CEANID, 2016

En la tabla 3.9, se muestran las normas y métodos utilizados para determinar las propiedades fisicoquímicas del producto final yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Tabla 3.9**  
**Normas y métodos para determinar las propiedades fisicoquímicas del producto final**

Detalles	Norma	Método de ensayo
Acidez (ácido láctico)	NB 229:98	Volumétrica
Calcio total	Absorción atómica	Absorción atómica
Cenizas	NB 39034:10	Gravimétrica
Fibra	Gravimetría	Digestión acida
Hidratos de carbono	Cálculo	Calculo indirecto
Humedad	NB 231:1-98	Gravimétrica
Materia grasa	BABCOCK	Gravimétrica
Proteína total (Nx6.38)	NB 466-81	Volumétrica
Valor energético	Cálculo	Cálculo

**Fuente:** CEANID, 2016

### 3.4.2.- NORMAS Y MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

En la tabla 3.10, se muestran las normas y métodos utilizados para determinar las propiedades microbiológicas de las materias primas y del producto final yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Tabla 3.10**  
**Normas y métodos utilizados para determinar el análisis microbiológico**

Detalles	Norma	Método de ensayo
Coliformes totales	NB 32005:02	Recuento en placa
Coliformes fecales	NB 32005:02	Recuento en placa
Mohos y levaduras	NB 32006:03	Recuento en placa
Bacterias aerobias mesófilos	NB 32003:05	Recuento en placa

**Fuente:** CEANID, 2016

### 3.4.3.- ANÁLISIS SENSORIAL

Detrás de cada alimento que nos llevamos a la boca existen múltiples procedimientos para hacerlos apetecibles y de buena calidad para el consumo. Uno de estos aspectos es el análisis sensorial, que consiste en evaluar las propiedades organolépticas de los productos es decir: todo lo que se puede percibir por los sentidos y determinar su aceptación por el consumidor (Barda, 2000).

Se trabaja con personas, en lugar de máquinas, el instrumento de medición es el ser humano, por lo que se toman todos los recaudos para que la respuesta sea objetiva; estas personas no necesariamente deben ser expertos, por eso es tan importante trabajar con un grupo de evaluadores o lo que habitualmente denominamos Panel de Evaluación Sensorial (Barda, 2000).

Según (Barda, 2000), dentro de los tipos de análisis sensorial se encuentran tres grandes grupos: descriptivo, discriminativo y consumidor.

**a) Análisis descriptivo**

Consiste en la descripción de las propiedades sensoriales (parte cualitativa) y su medición (parte cuantitativa).

**b) Análisis discriminativo**

Es utilizado para comprobar si hay diferencia entre productos, y la consulta al panel es cuanto difiere de un control o producto típico, pero no sus propiedades o atributos.

**3.4.3.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR LA MUESTRA PRELIMINAR DE YOGURT NATURAL PROBIÓTICO**

Se realizó la degustación (Anexo B), de dos muestras de yogurt los cuales fueron evaluadas por 15 jueces no entrenados, de los cuales se evaluó grado de dulzor, consistencia y textura (Anexo C), para determinar la muestra preliminar.

**3.4.3.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR LA ETAPA DE FERMENTACIÓN INICIAL**

Para determinar la fermentación inicial se procedió a elaborar ocho muestras de yogurt natural probiótico enriquecido, en base a la formulación de la muestra preliminar.

Posteriormente se realizó una evaluación sensorial (Anexo B) de las ocho muestras las cuales fueron evaluadas por 15 jueces no entrenados para los atributos acidez, consistencia y textura (Anexo C) para determinar la muestra inicial en la etapa de fermentación.

**3.4.3.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO CONSISTENCIA**

Para determinar el atributo consistencia del yogurt natural probiótico se procedió a elaborar tres muestras (dos iguales y una diferente).

Posteriormente se realizó una evaluación sensorial en base al test triangular (Anexo B), las cuales fueron evaluadas por 15 jueces no entrenados con el fin de determinar el atributo consistencia del yogurt natural probiótico enriquecido (Anexo C).

#### **3.4.3.4.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR LA ETAPA DE FERMENTACIÓN FINAL**

Para determinar la fermentación final, se procedió a elaborar nuevamente las muestras (606 y 711), utilizadas en el test triangular, las cuales fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados para los atributos acidez, consistencia y textura (Anexo C) mediante un test de escala hedónica (Anexo B).

#### **3.4.3.5.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR LA ETAPA DE SABORIZACIÓN**

Para determinar la etapa de saborización, se procedió a utilizar cuatro sabores diferentes de esencias (banana, durazno, piña y melón). Para tal efecto se procedió a elaborar cuatro muestras de yogurt natural probiótico enriquecido.

Posteriormente se realizó la evaluación sensorial de las muestras, las cuales fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados para el atributo sabor (Anexo C) mediante un test de escala hedónica (Anexo B).

#### **3.4.3.6.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO TERMINADO**

Para valorar al producto terminado se procedió a evaluar la muestra de yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto, por 20 jueces no entrenados en cuanto se refiere a los atributos sabor, acidez, textura y consistencia (Anexo C) mediante el test de escala hedónica (Anexo B).

### **3.4.4.- DISEÑO EXPERIMENTAL**

El diseño experimental aplicado al trabajo, permite el estudio de las variables más importantes y significativa. Minimizando los costos durante el proceso, se puede realizar el estudio de varios factores en el estudio del conjunto (Montgomery, 1991).

Uno de los diseños factoriales más utilizadas según (Montgomery, 1991) son:

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Donde:

k = número de variables

2 = número de niveles

#### **3.4.4.1.- DISEÑO FACTORIAL EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN**

Considerando la etapa de fermentación, se tomaron en cuenta tres factores (leche en polvo, cultivo lácteo y hojuelas de amaranto); y dos niveles de variación en cada factor:

- P = (leche en polvo) = 2 niveles
- Q = (hojuelas de amaranto) = 2 niveles
- R = (cultivo lácteo) = 2 niveles

Por lo tanto el diseño experimental constará de un modelo expresado en base a la (ecuación 3.1 y ecuación 3.2):

$$2^3 = 2*2*2 = 8 \text{ tratamientos/pruebas} \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

En la tabla 3.11, se puede observar los niveles de variación de los factores de la etapa fermentativa.

**Tabla 3.11**  
**Variación de los factores en la etapa de fermentación**

Factores	Nivel inferior (g)	Nivel superior (g)
P	130.00	140.00
Q	10.00	12.00
R	0.05	0.06

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 3.12, se muestra el diseño experimental a ser utilizado para la etapa fermentativa del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

**Tabla 3.12**  
**Diseño experimental a ser utilizado en la etapa de fermentación del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto**

Corridas	Combinación de tratamientos	Factores			Interacciones				Respuestas
		P	Q	R	PQ	PR	QR	PQR	$Y_i$
1	(1)	-	-	-	+	+	+	-	$Y_1$
2	P	+	-	-	-	-	+	+	$Y_2$
3	Q	-	+	-	-	+	-	+	$Y_3$
4	PQ	+	+	-	+	-	-	-	$Y_4$
5	R	-	-	+	+	-	-	+	$Y_5$
6	PR	+	-	+	-	+	-	-	$Y_6$
7	QR	-	+	+	-	-	+	-	$Y_7$
8	PQR	+	+	+	+	+	+	+	$Y_8$

**Fuente:** Elaboración propia

Donde  $Y_i$  = porcentaje de acidez ( $^{\circ}$ Dornic)



#### 4.1.- CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 4.1, se detallan los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en la leche entera instantánea en polvo PIL Tarija, realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla 4.1**  
**Composición fisicoquímica y microbiológica de la leche entera instantánea en polvo PIL Tarija**

Parámetros	Unidad de medida	Resultado	Límites permisibles	
			Mínimo	Máximo
Acidez (ácido láctico)	%	0.15	-	0.15
Humedad	%	2.18	-	3.50
Materia grasa	%	26.07	26	40.00
Sólidos no grasos	%	71.75	Sin referencia	
Sólidos totales	%	97.82	Sin referencia	
Bacterias aerobias mesófilas	ufc/g	< 10	-	3.4 x 10 <sup>4</sup>
Coliformes totales	ufc/g	< 10	-	10.00
Coliformes fecales	ufc/g	< 10	-	0

**Fuente:** CEANID, 2016

En la tabla 4.1, se puede observar los resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas de la leche entera instantánea en polvo PIL Tarija, la cual tiene una composición de: acidez (ácido láctico) de 0.15 %, humedad 2.18 %, materia grasa 26.07 %, sólidos no grasos 71.75 %, sólidos totales 97.82 %. En cuanto se refiere a los análisis microbiológicos, se tiene: Bacterias aerobias mesófilas < 10 ufc/g, Coliformes totales < 10 ufc/g y Coliformes fecales < 10 ufc/g.

En la tabla 4.2, se detallan los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados a las hojuelas de amaranto de marca “Los Andes”.

**Tabla 4.2**  
**Composición fisicoquímica y microbiológica de las hojuelas de amaranto**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Resultado</b>
Fibra	%	4.57
Materia grasa	%	5.30
Humedad	%	8.56
Proteína total (Nx6,25)	%	14.68
Coliformes totales	ufc/g	< 10

**Fuente:** CEANID, 2016

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y microbiológico realizado a las hojuelas de amaranto “Los Andes”. Los cuales contienen fibra 4.57 %, materia grasa 5.30 %, humedad 8.56 % y proteína total (Nx6.25) 14.68 %. En el caso del análisis microbiológico, tiene coliformes totales < 10 ufc/g.

#### **4.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR LA MUESTRA PRELIMINAR DE YOGURT NATURAL PROBIÓTICO**

Para determinar la muestra preliminar del yogurt natural, se tomó en cuenta para su elaboración las cantidades estándar del yogurt frutado de la Planta Industrializadora de Leche PIL Tarija, cuya composición base fue:

- Leche entera en polvo instantánea 13.30 %
- Azúcar 6.60 %

En base a la composición antes mencionada, se elaboró dos muestras de yogurt natural incorporando 1.20 % de hojuelas de amaranto y  $6 \times 10^{-3}$  % de cultivo probiótico.

En el cuadro 4.1, se puede observar la variación en la composición de las muestras de yogurt natural probiótico a ser evaluadas para determinar la muestra preliminar de yogurt natural probiótico.

**Cuadro 4.1**  
**Variación en la composición de las muestras del yogurt natural probiótico**

<b>Muestras</b>	<b>Leche en polvo (%)</b>	<b>Azúcar (%)</b>	<b>Hojuelas (%)</b>	<b>Cultivo probiótico (%)</b>
<b>A</b>	13.30	6.60	1.20	$6 \times 10^{-3}$
<b>B</b>	14.00	8.05	1.20	$6 \times 10^{-3}$

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente las dos muestras fueron evaluadas por 15 jueces no entrenados en cuanto se refiere a los atributos grado de dulzor, textura y consistencia en base a una escala hedónica (Anexo B).

#### **4.2.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO GRADO DE DULZOR**

En la tabla 4.3, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial para la determinación de la muestra preliminar; recopilados del (Anexo C, tabla C.2), para el atributo grado de dulzor del yogurt natural probiótico en escala hedónica.

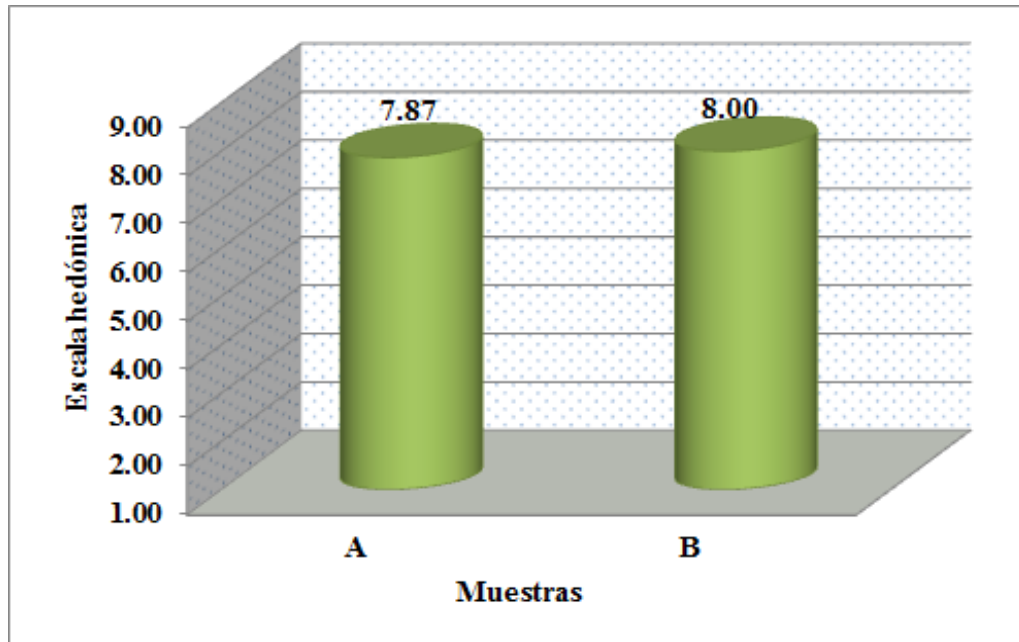
**Tabla 4.3**  
**Valores promedios del atributo grado de dulzor del yogurt natural probiótico**

<b>Jueces</b>	<b>Muestras (Escala hedónica)</b>	
	<b>A</b>	<b>B</b>
<b>1</b>	8	8
<b>2</b>	8	9
<b>3</b>	9	9
<b>4</b>	8	8
<b>5</b>	8	8
<b>6</b>	9	8
<b>7</b>	8	8
<b>8</b>	9	7
<b>9</b>	6	7
<b>10</b>	7	8
<b>11</b>	8	8
<b>12</b>	8	9
<b>13</b>	7	8
<b>14</b>	8	7
<b>15</b>	7	8
<b><math>\bar{X}_i</math></b>	<b>7.87</b>	<b>8.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.1, se muestran los resultados promedios de la evaluación sensorial para elegir la muestra de mayor agrado en cuanto al atributo grado de dulzor del yogurt natural probiótico, extraídos de la tabla 4.3.

**Figura 4.1**  
**Valores promedios del atributo grado de dulzor del yogurt natural probiótico**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.1, se observa que la muestra de mayor agrado por los jueces es la muestra B (8.00); en comparación con la muestra A (7.87) la cual tiene un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.2.1.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO GRADO DE DULZOR DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO**

En la tabla 4.4, se muestra el análisis de varianza para el atributo grado de dulzor del yogurt natural probiótico a ser utilizado en la determinación de la muestra preliminar (Anexo C, tabla C.3)

**Tabla 4.4**  
**Análisis de varianza para el atributo grado de dulzor del yogurt natural probiótico**

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
<b>Total</b>	15.87	29	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	0.13	1	0.13	0.31	4.60
<b>Entre jueces</b>	9.87	14	0.71	1.68	2.48
<b>Error</b>	5.87	14	0.42	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.4,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0.31 < 4.60$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra B (8.00), como la mejor opción para la muestra preliminar.

#### **4.2.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO TEXTURA**

En la tabla 4.5, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial para la determinación de la muestra preliminar; recopilados del (Anexo C, tabla C.4), para el atributo textura del yogurt natural probiótico.

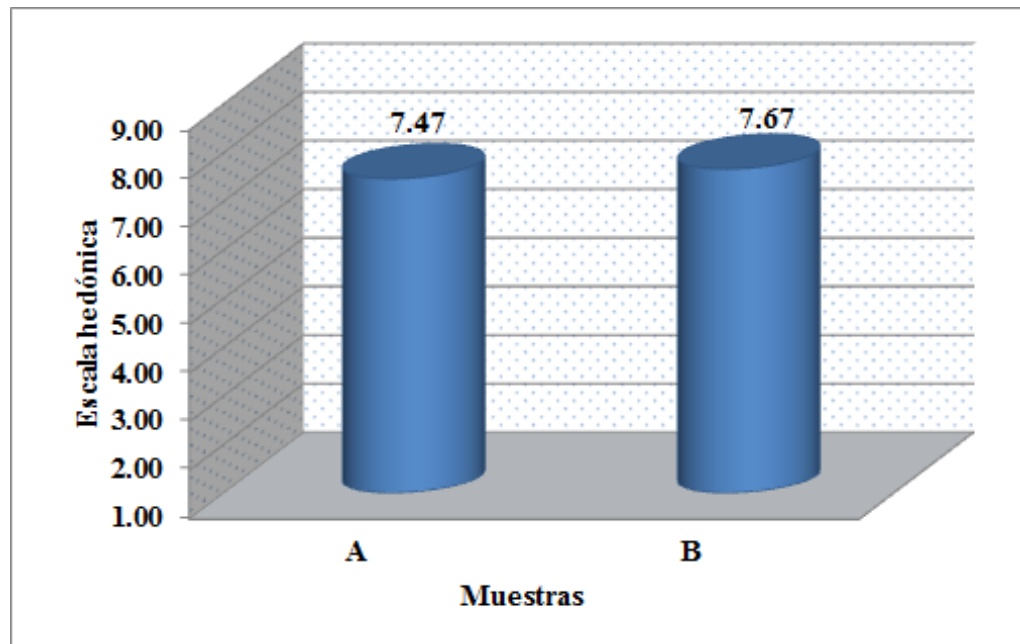
**Tabla 4.5**  
**Valores promedios del atributo textura del yogurt natural probiótico**

Jueces	Muestras (Escala hedónica)	
	A	B
1	9	9
2	8	9
3	8	9
4	8	8
5	8	8
6	7	7
7	7	8
8	8	8
9	8	7
10	7	5
11	6	8
12	7	7
13	6	6
14	7	8
15	8	8
$\bar{X}_i$	<b>7.47</b>	<b>7.67</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.2, se muestran los resultados promedios de la evaluación sensorial para elegir la muestra de mayor agrado en cuanto al atributo textura del yogurt natural probiótico, extraídos de la tabla 4.5.

**Figura 4.2**  
**Valores promedios del atributo textura del yogurt natural probiótico**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.2, se observa que la muestra de mayor agrado por los jueces es la muestra B (7.67); en comparación con la muestra A (7.47) la cual tiene un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.2.2.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO TEXTURA DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO**

En la tabla 4.6, se muestra el análisis de varianza para el atributo textura del yogurt natural probiótico, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.5).



**Tabla 4.6**  
**Análisis de varianza del atributo textura del yogurt natural probiótico**

<b>Fuente de varianza (FV)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Total</b>	27.37	29	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	0.30	1	0.30	0.68	4.60
<b>Entre jueces</b>	20.87	14	1.49	3.37	2.48
<b>Error</b>	6.20	14	0.44	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.6,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0.68 < 4.60$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra B (7.67), como la mejor opción para la muestra preliminar.

#### **4.2.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO CONSISTENCIA**

En la tabla 4.7, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial para la determinación de la muestra preliminar; recopilados del (Anexo C, tabla C.6), para el atributo consistencia del yogurt natural probiótico.

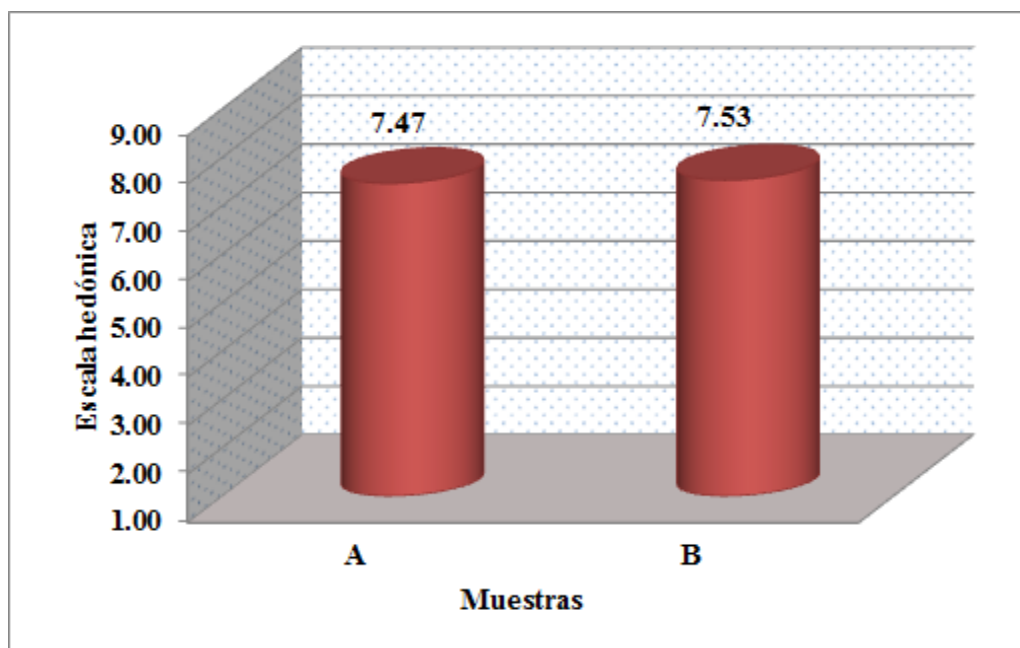
**Tabla 4.7**  
**Valores promedios del atributo consistencia del yogurt natural probiótico**

Jueces	Muestras (Escala hedónica)	
	A	B
1	8	8
2	8	8
3	7	6
4	7	8
5	8	8
6	8	9
7	6	7
8	7	7
9	8	8
10	8	7
11	6	7
12	8	8
13	8	9
14	7	6
15	8	7
$\bar{X}_i$	<b>7.47</b>	<b>7.53</b>

**Fuente:** elaboración propia

En la figura 4.3, se muestran los resultados promedios de la evaluación sensorial para elegir la muestra de mayor agrado en cuanto al atributo consistencia, extraídos de la tabla 4.7.

**Figura 4.3**  
**Valores promedios del atributo consistencia del yogurt natural probiótico**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.3, se observa que la muestra de mayor agrado por los jueces es la muestra B (7.53); en comparación con la muestra A (7.47) la cual tiene un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.2.3.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO CONSISTENCIA DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO**

En la tabla 4.8, se muestra el análisis de varianza para el atributo consistencia yogurt natural probiótico, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.7).

**Tabla 4.8**  
**Análisis de varianza para el atributo consistencia del yogurt natural probiótico**

<b>Fuente de varianza (FV)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Total</b>	19.50	29	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	0.03	1	0.03	0.09	4.60
<b>Entre jueces</b>	15.00	14	1.07	3.36	2.48
<b>Error</b>	4.47	14	0.32	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.8,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0.09 < 4.60$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra B (7.53), como la mejor opción para la muestra preliminar.

En base a la evaluación sensorial realizada se determinó que la muestra B es la que tiene mayor puntaje para los atributos: grado de dulzor (8.00), textura (7.67) y consistencia (7.53); en comparación con la muestra A que tiene menor puntaje para los atributos: grado de dulzor (7.87), textura (7.47) y consistencia (7.47), en escala hedónica. Así mismo realizado el análisis estadístico para ambos tratamientos no existe evidencia estadística significativa; ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , para lo cual no se rechaza la hipótesis planteada para un  $p < 0.05$ .

Finalmente, se estableció una composición para la muestra preliminar del yogurt natural probiótico:

- Leche entera en polvo instantánea 14.00 %
- Azúcar 8.05 %
- Hojuelas de amaranto 1.20 %
- Cultivo lácteo  $6 \times 10^{-3}$  %.

#### 4.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR LA FERMENTACIÓN INICIAL DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO

Para determinar la fermentación inicial se procedió a elaborar ocho muestras de yogurt natural probiótico enriquecido, en base a la formulación de la muestra preliminar (B). Para tal efecto se procedió a variar la cantidad de cultivo probiótico, leche entera instantánea en polvo PIL Tarija y hojuelas de amaranto.

En el cuadro 4.2, se puede observar la variación en la composición de las muestras de yogurt natural probiótico a ser evaluadas en la etapa de fermentación inicial.

**Cuadro 4.2**  
**Variación en la composición de las muestras en la etapa de fermentación inicial**

<b>Muestras</b>	<b>Leche en polvo (%)</b>	<b>Azúcar (%)</b>	<b>Hojuelas (%)</b>	<b>Cultivo probiótico (%)</b>
<b>M1</b>	13.00	8.05	1.00	$5 \times 10^{-3}$
<b>M2</b>	14.00	8.05	1.00	$5 \times 10^{-3}$
<b>M3</b>	13.00	8.05	1.20	$5 \times 10^{-3}$
<b>M4</b>	14.00	8.05	1.20	$5 \times 10^{-3}$
<b>M5</b>	13.00	8.05	1.00	$6 \times 10^{-3}$
<b>M6</b>	14.00	8.05	1.00	$6 \times 10^{-3}$
<b>M7</b>	13.00	8.05	1.20	$6 \times 10^{-3}$
<b>M8</b>	14.00	8.05	1.20	$6 \times 10^{-3}$

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente se realizó una evaluación sensorial de las muestras, las cuales fueron evaluadas por 15 jueces no entrenados para los atributos acidez, consistencia y textura en escala hedónica (Anexo B).

### 4.3.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO ACIDEZ EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN INICIAL

En la tabla 4.9, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial; recopilados del (Anexo C, tabla C.9), para el atributo acidez en la etapa de fermentación inicial

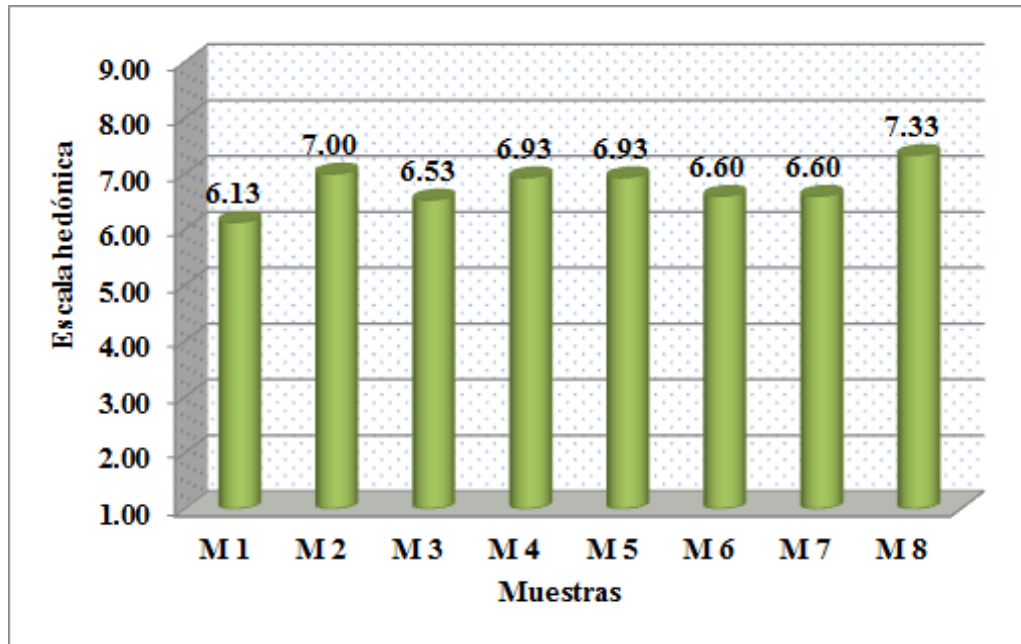
**Tabla 4.9**  
**Valores promedios del atributo acidez en la etapa de fermentación inicial**

Jueces	Muestras (Escala hedónica)							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	7	7	5	5	7	6	5	9
2	6	7	7	8	7	8	8	8
3	7	8	7	7	6	5	4	6
4	7	8	7	8	8	8	5	8
5	8	7	8	8	7	5	6	7
6	8	8	8	7	8	7	8	8
7	7	8	8	9	6	7	8	7
8	5	6	4	8	7	7	8	6
9	5	5	6	6	7	5	5	5
10	8	7	6	7	6	7	8	8
11	5	6	6	5	6	6	5	5
12	4	7	7	6	8	8	7	8
13	5	8	8	7	7	7	8	9
14	5	5	6	6	6	7	8	9
15	5	8	5	7	8	6	6	7
$\bar{X}_i$	6.13	7.00	6.53	6.93	6.93	6.60	6.60	7.33

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.4, se muestran los resultados promedios de la evaluación sensorial del atributo acidez en la etapa de fermentación inicial, extraídos de la tabla 4.9.

**Figura 4.4**  
**Valores promedios del atributo acidez en la etapa de fermentación inicial**



**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.4, se puede observar que las cuatro muestras de mayor agrado por los jueces de acuerdo a la evaluación sensorial realizada son las muestras: M2 (7.00); M4 (6.93); M5 (6.93); M8 (7.33); en comparación a las muestras: M1 (6.13); M3 (6.53); M6 (6.60) y M7 (6.60) las cuales tienen un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.3.1.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO ACIDEZ EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN INICIAL**

En la tabla 4.10, se muestra el análisis de varianza para el atributo acidez en la etapa de fermentación inicial, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.10).

**Tabla 4.10**  
**Análisis de varianza para el atributo acidez en la etapa de fermentación inicial**

<b>Fuente de varianza (FV)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Total</b>	177.99	119	-	-	-
<b>Tratamientos</b>	14.13	7	2.02	1.80	2.11
<b>Jueces</b>	53.87	14	3.85	3.43	1.79
<b>Error</b>	110.00	98	1.12	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.10,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1.80 < 2.11$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra M8 (7.33), como la mejor opción en la etapa de fermentación inicial.

#### **4.3.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO CONSISTENCIA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN INICIAL**

En la tabla 4.11, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial; recopilados del (Anexo C, tabla C.11), para el atributo consistencia en la etapa de fermentación inicial.



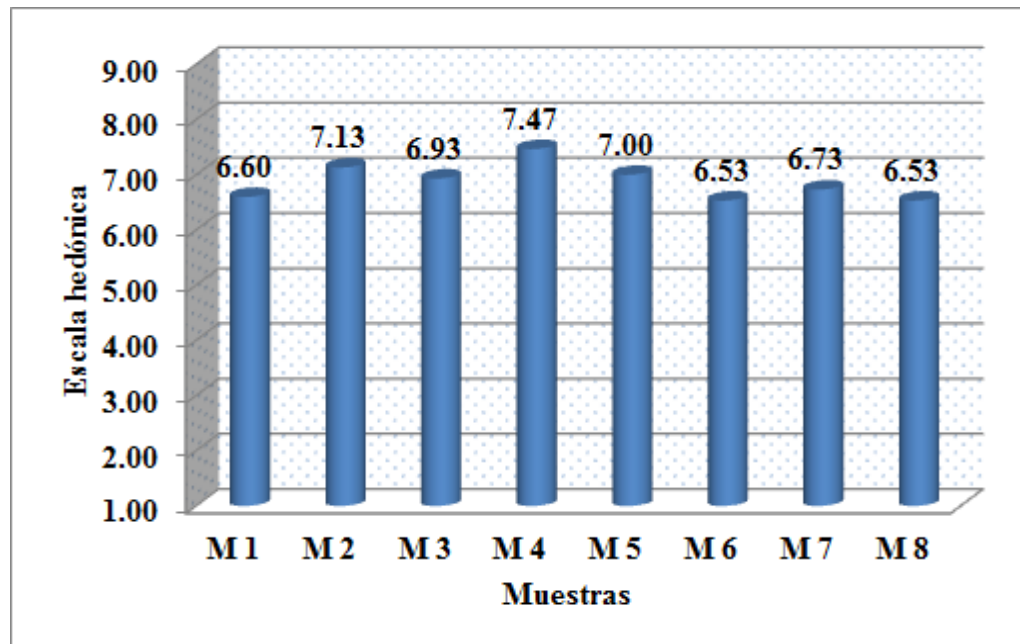
**Tabla 4.11**  
**Valores promedios del atributo consistencia en la etapa de fermentación inicial**

Jueces	Muestras (Escala hedónica)							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
<b>1</b>	5	8	8	8	7	7	7	6
<b>2</b>	6	7	7	8	7	8	8	8
<b>3</b>	7	7	6	7	6	8	3	5
<b>4</b>	6	4	5	8	7	6	7	7
<b>5</b>	6	6	5	5	4	5	6	5
<b>6</b>	7	8	8	8	9	6	7	6
<b>7</b>	7	9	8	8	6	7	8	8
<b>8</b>	5	8	6	7	6	6	9	7
<b>9</b>	6	7	6	8	9	5	4	3
<b>10</b>	8	7	7	8	5	6	7	8
<b>11</b>	7	7	8	6	6	5	5	5
<b>12</b>	7	7	6	8	7	6	7	7
<b>13</b>	9	9	9	8	9	9	7	9
<b>14</b>	8	8	9	9	9	9	8	9
<b>15</b>	5	5	6	6	8	5	8	5
<b><math>\bar{X}_i</math></b>	<b>6.60</b>	<b>7.13</b>	<b>6.93</b>	<b>7.47</b>	<b>7.00</b>	<b>6.53</b>	<b>6.73</b>	<b>6.53</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.5, se muestran los resultados promedios de la evaluación sensorial del atributo consistencia en la etapa de fermentación inicial, extraída de la tabla 4.11.

**Figura 4.5**  
**Valores promedios del atributo consistencia en la etapa de fermentación inicial**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.5, se observa que las cuatro muestras de mayor agrado por los jueces son las muestras: M2 (7.13); M3 (6.93); M4 (7.47) y la M5 (7.00); en comparación a las muestras: M1 (6.60); M6 (6.53); M7 (6.73) y la M8 (6.53) las cuales tienen un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.3.2.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO CONSISTENCIA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN INICIAL**

En la tabla 4.12, se muestra el análisis de varianza para el atributo consistencia en la etapa de fermentación inicial, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.12).

**Tabla 4.12**

**Análisis de varianza para el atributo consistencia en la etapa de fermentación inicial**

<b>Fuente de varianza (FV)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Total</b>	237.87	119	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	11.47	7	1.64	1.30	2.11
<b>Entre jueces</b>	103.37	14	7.38	5.88	1.79
<b>Error</b>	123.03	98	1.26	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.12, se puede observar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1.30 < 2.11$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra M4 (7.47), como la mejor opción en la etapa de fermentación inicial.

#### **4.3.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO TEXTURA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN INICIAL**

En la tabla 4.13, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial; recopilados del (Anexo C, tabla C.13), para el atributo textura en la etapa de fermentación inicial.

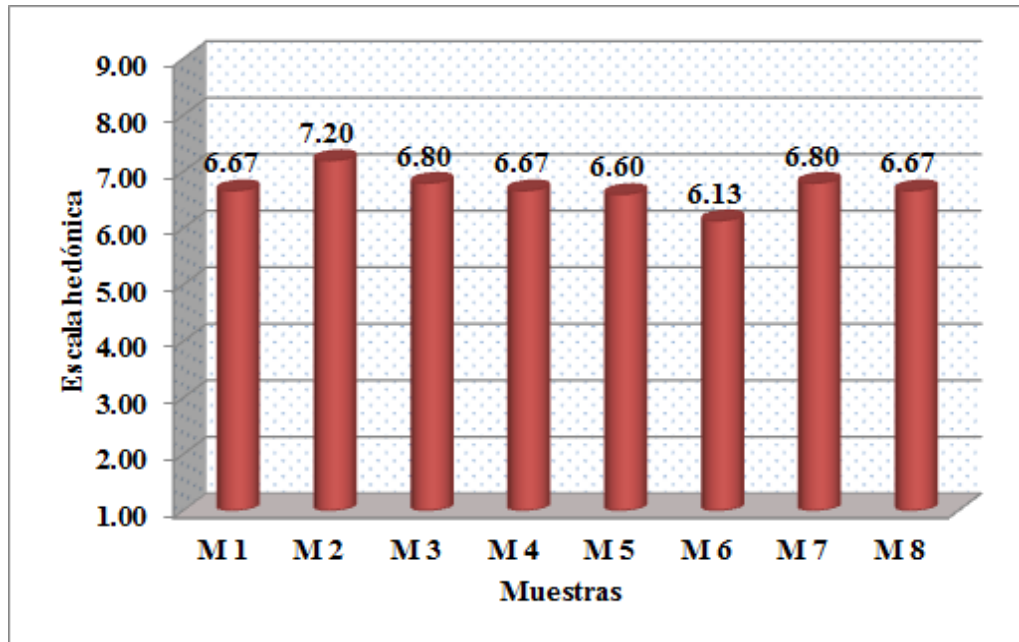
**Tabla 4.13**  
**Valores promedios del atributo textura en la etapa de fermentación inicial**

Jueces	Muestras (Escala hedónica)							
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
1	6	5	7	7	6	5	7	7
2	7	7	8	7	8	7	8	8
3	6	6	7	5	5	4	4	4
4	6	8	6	8	8	7	5	7
5	9	7	6	8	5	7	6	5
6	6	8	8	7	8	7	8	6
7	8	8	7	9	7	8	8	7
8	6	7	6	8	7	6	8	7
9	5	8	8	5	7	5	6	6
10	9	8	7	6	6	7	8	7
11	6	6	7	6	5	5	5	6
12	8	8	5	7	7	6	7	8
13	6	8	8	5	5	5	7	7
14	7	7	7	7	7	7	8	9
15	5	7	5	5	8	6	7	6
$\bar{X}_i$	<b>6.67</b>	<b>7.20</b>	<b>6.80</b>	<b>6.67</b>	<b>6.60</b>	<b>6.13</b>	<b>6.80</b>	<b>6.67</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.6, se muestran los resultados promedios de la evaluación sensorial del atributo textura en la etapa de fermentación inicial, extraída de la tabla 4.13.

**Figura 4.6**  
**Valores promedios del atributo textura en la etapa de fermentación inicial**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.6, se observa que las muestras de mayor aceptación por los jueces son las muestras: M1 (6.67); M2 (7.20); M3 (6.80); M4 (6.67); M7 (6.80) y la M8 (6.67); en comparación a las muestras: M5 (6.60) y M6 (6.13) las cuales tienen un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.3.3.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO TEXTURA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN INICIAL**

En la tabla 4.14, se muestra el análisis de varianza para el atributo textura en la etapa de fermentación inicial, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.14).

**Tabla 4.14**  
**Análisis de varianza para el atributo textura en la etapa de fermentación inicial**

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
<b>Total</b>	165.59	119	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	9.06	7	1.29	1.28	2.11
<b>Entre jueces</b>	57.47	14	4.10	4.06	1.79
<b>Error</b>	99.07	98	1.01	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.14,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1.28 < 2.11$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra M2 (7.13), como la mejor opción en la etapa de fermentación inicial.

En base a la evaluación sensorial realizada se determinó que la muestra M4 es la que tiene mayor puntaje para el atributo consistencia (7.47); en comparación con las muestras: M1 (6.60); M2 (7.13); M3 (6.93); M5 (7.00); M6 (6.53); M7 (6.73) y M8 (6.53) las cuales tienen un menor puntaje en escala hedónica. Así mismo realizado el análisis estadístico para los tratamientos no existe evidencia estadística significativa: ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , para lo cual no se rechaza la hipótesis planteada para un  $p < 0.05$ .

Finalmente, se estableció una composición del yogurt natural probiótico enriquecido en la etapa de fermentación inicial:

- Leche entera en polvo instantánea 14.00 %
- Azúcar 8.05 %
- Hojuelas de amaranto 1.20 %
- Cultivo lácteo  $5 \times 10^{-3}$  %

#### 4.4.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO CONSISTENCIA DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO ENRIQUECIDO

Para determinar el atributo consistencia del yogurt natural probiótico se procedió a elaborar tres muestras (dos iguales y una diferente) en base a la muestra M4; ya que la misma presentaba una consistencia bastante firme y que los jueces manifestaron durante la evaluación.

Para tal efecto, se procedió a elaborar las muestras de yogurt natural probiótico enriquecido variando (cuadro 4.3) la cantidad de leche en polvo y hojuelas de amaranto.

**Cuadro 4.3**  
**Variación en la composición de las muestras para el atributo consistencia**

Muestras	Leche en polvo (%)	Azúcar (%)	Hojuelas (%)	Cultivo probiótico (%)
<b>P(patrón)</b>	14.00	8.05	1.20	$5 \times 10^{-3}$
<b>606</b>	13.00	8.05	0.80	$5 \times 10^{-3}$
<b>711</b>	14.00	8.05	1.20	$5 \times 10^{-3}$

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente se realizó una evaluación sensorial en base al test triangular (Anexo B), las cuales fueron evaluadas por 15 jueces no entrenados con el fin de determinar el atributo consistencia del yogurt natural probiótico enriquecido (Anexo C).

En el esquema 4.1, se muestra la prueba de test triangular para la determinación del atributo consistencia del yogurt natural probiótico enriquecido.

**Esquema 4.1**  
**Prueba de test triangular para el atributo consistencia**

**¿CUÁL DE LAS MUESTRAS ES  
DIFERENTE?**



**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.15, se detallan los resultados de los aciertos y desaciertos de la evaluación sensorial realizada en base al test triangular; extraídos del (Anexo C, tabla C.15).

**Tabla 4.15**  
**Resultados de la evaluación sensorial del atributo consistencia en base al test triangular**

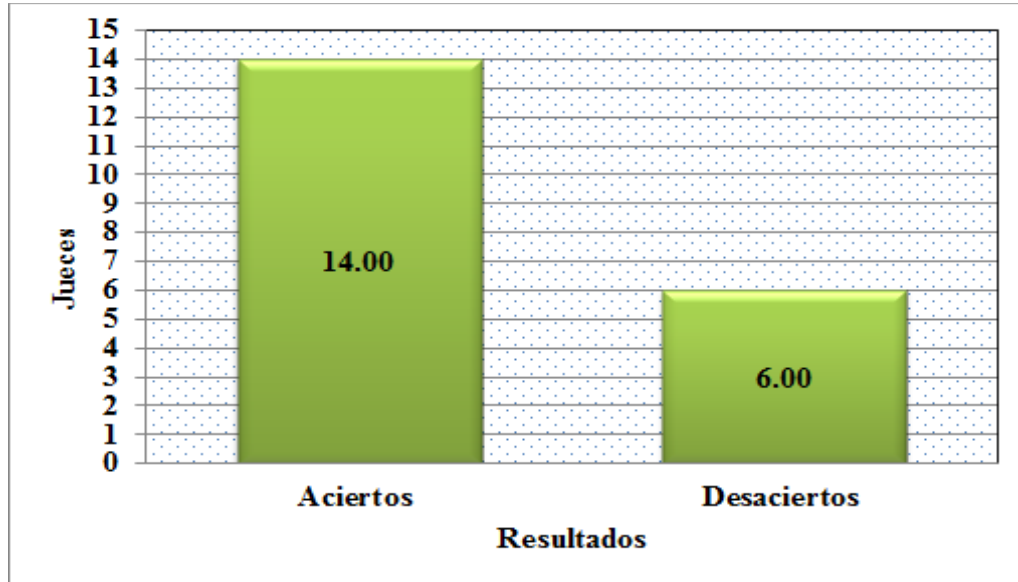
Jueces	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total	
<b>Aciertos</b>	x	x		x	x	x			x	x	x		x	x	x	x		x		x	<b>14</b>	
<b>Desaciertos</b>			x				x	x				x					x		x		<b>6</b>	
	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>20</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.7, se muestran los resultados de la evaluación sensorial del atributo consistencia, extraídos de la tabla 4.15.



**Figura 4.7.**  
**Resultados de la evaluación sensorial del atributo consistencia en base al test triangular**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.7, se observa que no hubo diferencia significativa en las muestras analizadas de acuerdo al test triangular.

En base a los resultados obtenidos de la tabla 4.15, se procedió a interpretar en forma analítica los resultados del test triangular para determinar evidencia significativa de las muestras analizadas.

En base a los resultados obtenidos en la evaluación sensorial se tiene que:

$$X_{Cal}^2 = 3.26 < X_{Tab(0.99; 19)}^2 = 36.19$$

$$3.26 < 36.19$$

Se puede decir que  $X_{Cal}^2 < X_{Tab}^2$ , por lo cual no existe diferencia significativa entre las muestras. En tal situación se acepta la hipótesis planteada y por lo cual no existe diferencia estadísticamente significativa para  $p < 0.01$ . Por lo tanto no existe diferencia significativa entre las muestras.

#### **4.5.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR LA FERMENTACIÓN FINAL DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO ENRIQUECIDO**

Para determinar la fermentación final, se procedió a elaborar nuevamente las muestras (606 y 711) de yogurt natural probiótico enriquecido utilizadas en la prueba triangular, debido que no se encontró diferencias significativas entre las muestras para el atributo consistencia. En tal sentido, en el cuadro 4.4, se puede observar la nueva variación en la composición (leche entera en polvo, hojuelas y cultivo probiótico) de las muestras de yogurt natural probiótico enriquecido a ser evaluadas en la etapa de fermentación final.

**Cuadro 4.4**  
**Variación en la composición de las muestras en la etapa de fermentación final**

<b>Muestras</b>	<b>Leche en polvo (%)</b>	<b>Azúcar (%)</b>	<b>Hojuelas (%)</b>	<b>Cultivo probiótico (%)</b>
<b>Yog1</b>	14.00	8.05	1.20	$5 \times 10^{-3}$
<b>Yog2</b>	13.00	8.05	0.80	$5 \times 10^{-3}$

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente se realizó la evaluación sensorial de las muestras, las cuales fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados para los atributos acidez, consistencia y textura en escala hedónica (Anexo B).

##### **4.5.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO ACIDEZ EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN FINAL**

En la tabla 4.16, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial; recopilados del (Anexo C, tabla C.17), para el atributo acidez en la etapa de fermentación final.

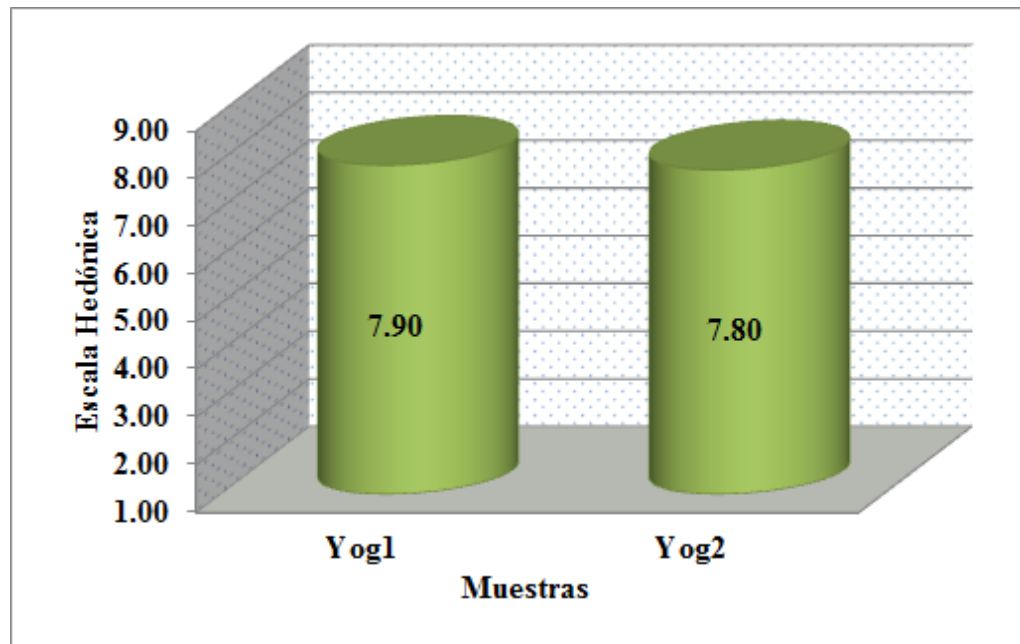
**Tabla 4.16**  
**Valores promedios del atributo acidez en la etapa de fermentación final**

Jueces	Muestras (Escala hedónica)	
	Yog1	Yog2
1	8	8
2	7	8
3	8	8
4	8	7
5	7	6
6	8	9
7	9	6
8	7	8
9	7	9
10	8	7
11	9	8
12	8	8
13	7	7
14	9	8
15	9	7
16	7	8
17	7	9
18	8	9
19	8	7
20	9	9
$\bar{X}_i$	<b>7.90</b>	<b>7.80</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.8, se muestran los valores promedios de la evaluación sensorial del atributo acidez en la etapa de fermentación final, extraídos de la tabla 4.16.

**Figura 4.8**  
**Valores promedios del atributo acidez en la etapa de fermentación final**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.8, se observa que la muestra de mayor aceptación por los jueces es la muestra: Yog1 (7.90), en comparación con la muestra Yog2 (7.80), la cual tiene un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.5.1.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO ACIDEZ EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN FINAL**

En la tabla 4.17, se muestra el análisis de varianza para el atributo acidez en la etapa de fermentación final, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.18).

**Tabla 4.17**  
**Análisis de varianza para el atributo acidez en la etapa de fermentación final**

<b>Fuente de varianza (FV)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Total</b>	29.10	39	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	0.10	1	0.10	0.12	4.38
<b>Entre jueces</b>	13.10	19	0.69	0.82	2.17
<b>Error</b>	15.90	19	0.84	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.17, se puede observar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0.12 < 4.38$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra Yog1 (7.90), como la mejor opción en la etapa de fermentación final.

#### **4.5.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO TEXTURA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN FINAL**

En la tabla 4.18, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial; recopilados del (Anexo C, tabla C.19), para el atributo textura en la etapa de fermentación final.

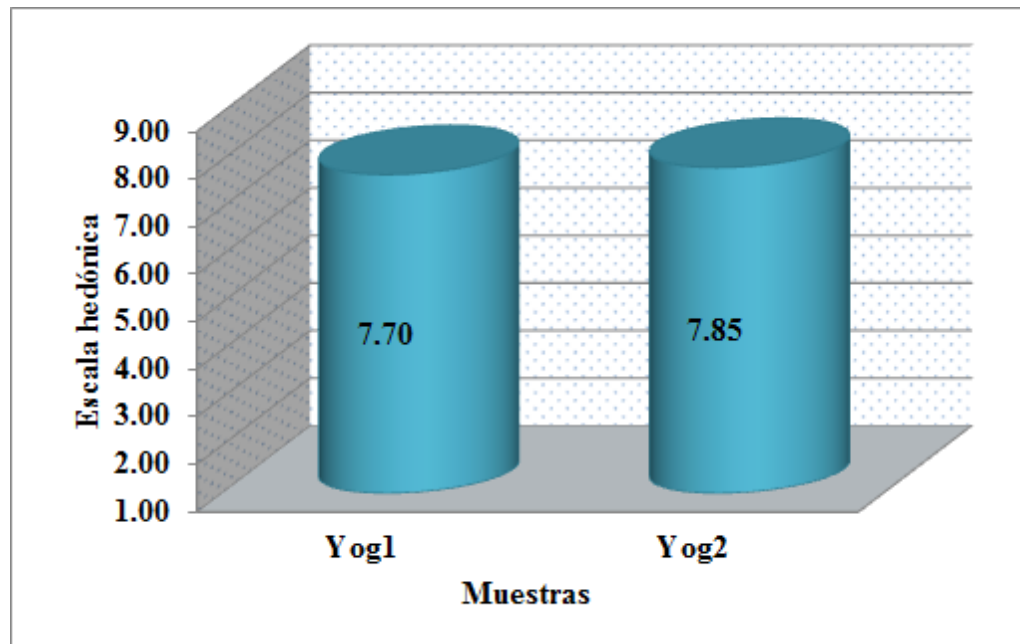
**Tabla 4.18**  
**Valores promedios del atributo textura en la etapa de fermentación final**

<b>Jueces</b>	<b>Muestras (Escala hedónica)</b>	
	<b>Yog 1</b>	<b>Yog 2</b>
<b>1</b>	8	8
<b>2</b>	8	7
<b>3</b>	7	9
<b>4</b>	8	8
<b>5</b>	9	7
<b>6</b>	7	7
<b>7</b>	9	8
<b>8</b>	7	9
<b>9</b>	8	8
<b>10</b>	8	9
<b>11</b>	7	7
<b>12</b>	7	8
<b>13</b>	9	7
<b>14</b>	7	8
<b>15</b>	8	8
<b>16</b>	7	8
<b>17</b>	8	8
<b>18</b>	7	7
<b>19</b>	7	8
<b>20</b>	8	8
<b><math>\bar{X}_i</math></b>	<b>7.70</b>	<b>7.85</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.9, se muestran los valores promedios de la evaluación sensorial del atributo textura en la etapa de fermentación final, extraídos de la tabla 4.18.

**Figura 4.9**  
**Valores promedios del atributo textura en la etapa de fermentación final**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.9, se observa que la muestra de mayor agrado por los jueces es la muestra: Yog2 (7.85), en comparación con la muestra Yog1 (7.70), la cual tiene un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.5.2.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO TEXTURA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN FINAL**

En la tabla 4.19, se muestra el análisis de varianza para el atributo textura en la etapa de fermentación final, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.20).

**Tabla 4.19**  
**Análisis de varianza para el atributo textura en la etapa de fermentación final**

<b>Fuente de varianza (FV)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
<b>Total</b>	18.98	39	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	0.23	1	0.23	0.38	4.38
<b>Entre jueces</b>	7.48	19	0.39	0.66	2.17
<b>Error</b>	11.28	19	0.59	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.19, se puede observar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0.38 < 4.38$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra Yog2 (7.85), como la mejor opción en la etapa de fermentación final.

#### **4.5.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO CONSISTENCIA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN FINAL**

En la tabla 4.20, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial; recopilados del (Anexo C, tabla C.21), para el atributo consistencia en la etapa de fermentación final.



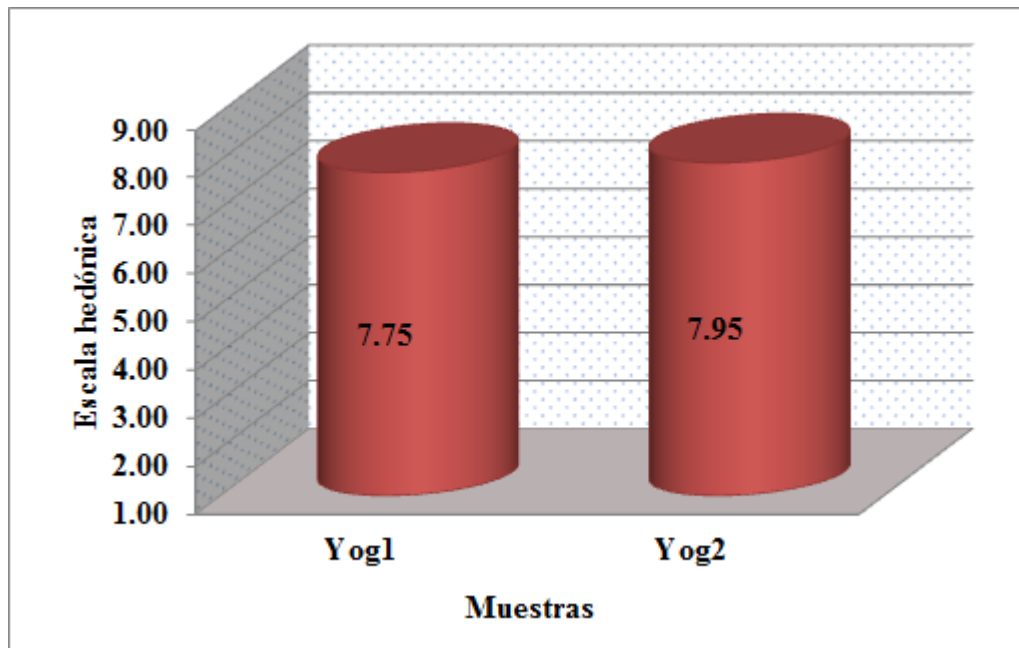
**Tabla 4.20**  
**Valores promedios del atributo consistencia en la etapa de fermentación final**

Jueces	Muestras (Escala hedónica)	
	Yog1	Yog2
1	7	6
2	8	8
3	8	9
4	8	8
5	7	8
6	6	8
7	8	8
8	7	8
9	9	8
10	7	8
11	8	8
12	8	8
13	9	9
14	9	8
15	8	9
16	8	8
17	8	7
18	6	7
19	8	8
20	8	8
$\bar{X}_i$	7.75	7.95

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.10, se muestran los valores promedios de la evaluación sensorial del atributo consistencia en la etapa de fermentación final, extraídos de la tabla 4.20.

**Figura 4.10**  
**Valores promedios del atributo consistencia en la etapa de fermentación final**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.10, se observa que la muestra de mayor aceptación por los jueces es la muestra: Yog2 (7.95), en comparación con la muestra Yog1 (7.75), la cual tiene un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.5.3.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO CONSISTENCIA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN FINAL**

En la tabla 4.21, se muestra el análisis de varianza para el atributo consistencia en la etapa de fermentación final, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.22).

**Tabla 4.21**  
**Análisis de varianza para el atributo consistencia en la etapa de fermentación final**

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
<b>Total</b>	23.10	39	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	0.40	1	0.40	1.15	4.38
<b>Entre jueces</b>	16.10	19	0.85	2.44	2.17
<b>Error</b>	6.60	19	0.35	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.21, se puede observar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1.15 < 4.38$ ) para los tratamientos, por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$  y se puede decir que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las muestras y por ende cualquier muestra elegida al azar es tomada en cuenta. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces es decir la muestra Yog2, como la mejor opción en la etapa de fermentación final.

En base a la evaluación sensorial realizada se determinó que la muestra Yog2 es la que tiene mayor puntaje para los atributos: textura (7.85) y consistencia (7.95), en comparación con la muestra Yog1: la cual tiene un menor puntaje para los atributo textura (7.70) y consistencia (7.75). Respecto al atributo acidez la muestra Yog1 (7.90) es la que tiene un mayor puntaje en comparación con la muestra Yog2 (7.80) la cual tiene un menor puntaje en escala hedónica. Así mismo realizado el análisis estadístico para los tratamientos no existe evidencia estadística significativa: ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , para lo cual no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$ .

Finalmente, se estableció una nueva formulación en composición de yogurt natural probiótico enriquecido para la etapa de fermentación final como ser:

- Leche entera en polvo instantánea 13.00 %
- Azúcar 8.05 %
- Hojuelas de amaranto 0.80 %
- Cultivo lácteo  $5 \times 10^{-3}$  %

#### 4.6.- DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LAS VARIABLES EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN DEL YOGURT ENRIQUECIDO CON HOJUELAS DE AMARANTO

Para determinar las variables (Leche en polvo, hojuelas de amaranto y cultivo lácteo) en el proceso de fermentación, se procedió a realizar el diseño factorial (tabla 3.12) con los niveles de variación (tabla 3.11); donde la variable respuesta fue la acidez (porcentaje de ácido láctico) expresada en °Dornic. Los resultados se muestran en la tabla 4.22.

**Tabla 4.22**  
**Ácido láctico expresado en °Dornic del yogurt natural probiótico enriquecido en la etapa de fermentación**

Corridas	Variables			Réplica I	Réplica II	Total ( $Y_i$ )
	Leche en polvo P	Hojuelas de amaranto Q	Cultivo lácteo R			
(1)	130.00 g	10.00 g	0.05 g	106.00	99.00	205.00
P	140.00 g	10.00 g	0.05 g	100.00	95.00	195.00
Q	130.00 g	12.00 g	0.05 g	104.00	95.00	199.00
PQ	140.00 g	12.00 g	0.05 g	109.00	104.00	213.00
R	130.00 g	10.00 g	0.06 g	104.00	90.00	194.00
PR	140.00 g	10.00 g	0.06 g	115.00	96.00	211.00
QR	130.00 g	12.00 g	0.06 g	108.00	100.00	208.00
PQR	140.00 g	12.00 g	0.06 g	119.00	96.00	215.00
<b>Total (<math>Y_j</math>)</b>						<b>1640.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- **P** = Cantidad de Leche en polvo (g)
- **Q** = Cantidad de Hojuelas de amaranto (g)
- **R** = Concentración de cultivo lácteo (g)
- **PQ** = Interacción (Leche en polvo – Hojuelas)
- **PR** = Interacción (Leche en polvo – Concentración de cultivo lácteo)
- **QR** = Interacción (Hojuelas - de cultivo lácteo)
- **PQR** = Interacción (Leche en polvo - Hojuelas - Concentración de cultivo lácteo)

En la tabla 4.23, se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza (Anexo D) de los valores de la variable respuesta (Acidez) para un diseño factorial  $2^3$ , en base a los resultados de la tabla 4.22.

**Tabla 4.23**  
**Análisis de varianza para las variables del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto en la etapa de fermentación**

<b>Fuente de varianza (FV)</b>	<b>Suma de cuadrados (SC)</b>	<b>Grados de libertad (GL)</b>	<b>Cuadrados medios (CM)</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>	<b>Significancia</b>
<b>TOTAL</b>	898.00	15	-	-	-	-
<b>SS(P)</b>	49.00	1	49.00	0.59	5.32	No
<b>SS(Q)</b>	56.25	1	56.25	0.68	5.32	No
<b>SS(PQ)</b>	16.00	1	16.00	0.19	5.32	No
<b>SS(R)</b>	12.25	1	12.25	0.15	5.32	No
<b>SS(PR)</b>	25.00	1	25.00	0.30	5.32	No
<b>SS(QR)</b>	2.25	1	2.25	0.03	5.32	No
<b>SS(PQR)</b>	72.25	1	72.25	0.87	5.32	No
<b>SS(E)</b>	665.00	8	83.13	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.23, los factores: cantidad leche en polvo (P), cantidad de hojuelas de amaranto (Q), concentración de cultivo lácteo (R) y las interacciones: (PQ) leche en polvo – hojuelas, (PR) leche en polvo – concentración de cultivo lácteo, (QR) hojuelas - concentración de cultivo lácteo y (PQR) leche en polvo - hojuelas - concentración de cultivo lácteo no son significativos en el proceso de fermentación para una  $p < 0.05$ .

En base al análisis estadístico realizado por el diseño  $2^3$ , se puede decir que ningún factor tomado en cuenta incide directamente en la etapa de fermentación del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.

#### **4.7.- CONTROL DE ACIDEZ Y pH EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA LA ELABORACIÓN DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO ENRIQUECIDO**

Una vez definidas las variables en la etapa de fermentación (leche en polvo, hojuelas de amaranto y cultivo lácteo), se procedió a controlar la acidez en intervalos de 30 minutos, manteniendo una temperatura constante hasta alcanzar un  $\text{pH} = 4.70$ ; con la finalidad de establecer el tiempo de fermentación más adecuado del proceso de elaboración del yogurt natural probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto en base a las ocho muestras analizadas en la etapa de fermentación inicial.

##### **4.7.1.- CONTROL DE ACIDEZ EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO ENRIQUECIDO**

En la tabla 4.24, se muestran los resultados obtenidos de la acidez expresados en °Dornic tomados en intervalos de tiempo cada 30 minutos.

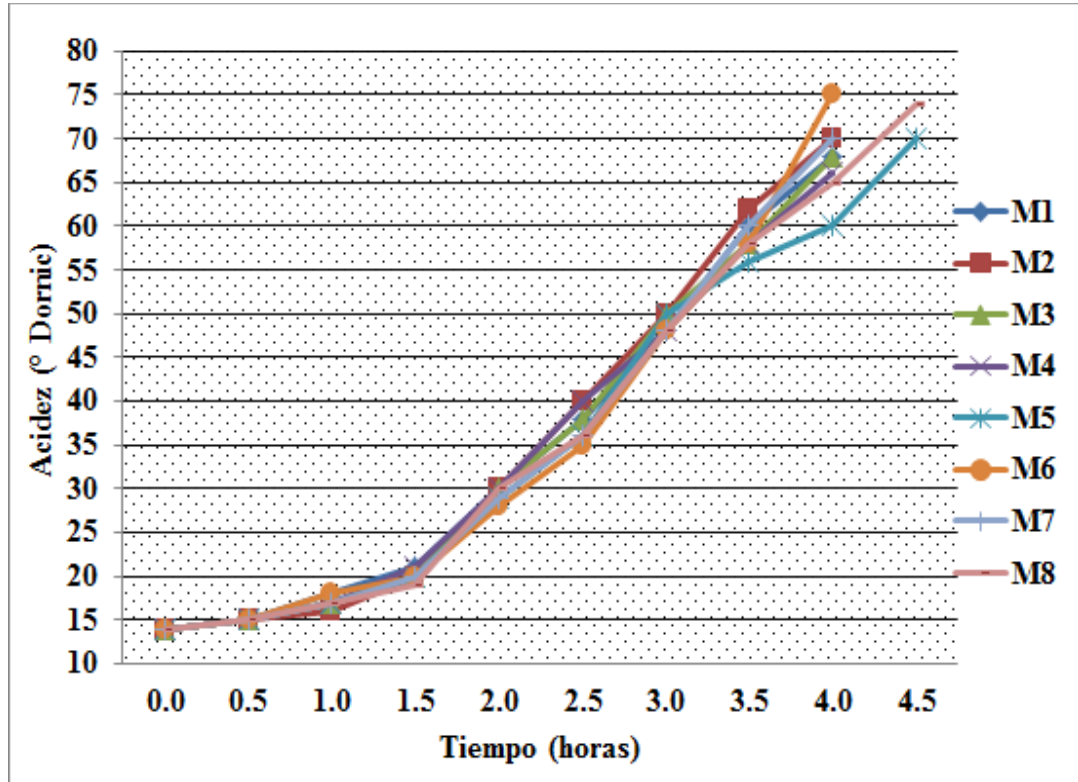
**Tabla 4.24**  
**Variación de acidez (°Dornic) del yogurt natural probiótico enriquecido en la etapa de fermentación**

Muestras	Tiempo (horas)									
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
<b>M1</b>	14	15	18	21	30	38	48	60	68	-
<b>M2</b>	14	15	16	20	30	40	50	62	70	-
<b>M3</b>	14	15	17	20	30	38	50	58	68	-
<b>M4</b>	14	15	17	21	30	40	48	58	66	-
<b>M5</b>	14	15	17	20	29	36	50	56	60	70
<b>M6</b>	14	15	18	20	28	35	48	58	75	-
<b>M7</b>	14	15	17	20	29	36	48	60	70	-
<b>M8</b>	14	15	17	19	30	36	48	58	65	74

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.11, se muestra la variación de los valores de acidez, expresados en °Dornic en intervalos de 30 minutos a una temperatura constante de 44° C hasta alcanzar un pH = 4.70.

**Figura 4.11**  
**Variación de acidez (°Dornic) del yogurt natural probiótico enriquecido en la etapa de fermentación**



**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 4.11, no existe variación significativa entre las muestra analizadas en cuanto al atributo acidez; sólo se observa que a medida que se incrementa el tiempo de fermentación, la acidez expresada en °Dornic aumenta desde (14 a 74) °Dornic

De acuerdo a la evaluación sensorial realizada en cuanto al atributo acidez la muestra de mayor aceptación por los jueces en escala hedónica fue la muestra M8 (7.33) con un grado de acidez de 74 °Dornic.



#### 4.7.2.- CONTROL DE pH DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO ENRIQUECIDO EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN

En la tabla 4.25, se muestran los resultados obtenidos de los valores de pH realizados cada media hora durante la etapa de fermentación del yogurt natural probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto, con la finalidad de determinar el tiempo de corte del yogurt a un pH de 4.70.

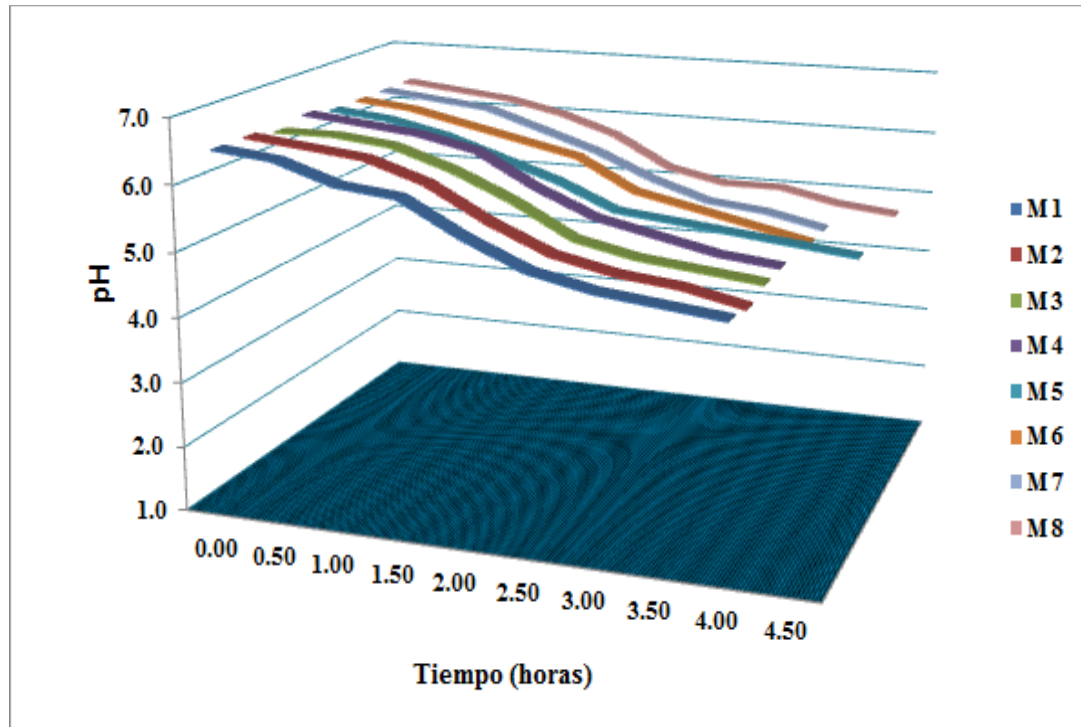
**Tabla 4.25**  
**Variación del pH del yogurt natural probiótico enriquecido en la etapa de fermentación**

Muestras	Tiempo (horas)									
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
<b>M1</b>	6.5	6.4	6.1	6.0	5.5	5.1	4.9	4.8	4.7	-
<b>M2</b>	6.5	6.4	6.3	6.0	5.5	5.1	4.9	4.8	4.6	-
<b>M3</b>	6.4	6.4	6.3	6.0	5.6	5.1	4.9	4.8	4.7	-
<b>M4</b>	6.5	6.4	6.3	6.1	5.6	5.2	5.0	4.8	4.7	-
<b>M5</b>	6.4	6.3	6.1	5.8	5.5	5.1	5.0	4.9	4.8	4.7
<b>M6</b>	6.4	6.3	6.1	5.9	5.7	5.2	5.0	4.8	4.6	-
<b>M7</b>	6.4	6.3	6.2	5.9	5.6	5.2	4.9	4.8	4.6	-
<b>M8</b>	6.4	6.3	6.2	6.0	5.7	5.2	5.0	5.0	4.8	4.7

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.12, se muestra de forma gráfica, los valores obtenidos de pH (tabla 4.25) realizados cada media hora durante la etapa de fermentación del yogurt natural probiótico enriquecido, con la finalidad de determinar el tiempo de corte del yogurt a un pH de 4.70.

**Figura 4.12**  
**Variación de pH del yogurt natural probiótico enriquecido durante la etapa de fermentación**



**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 4.12, las muestras analizadas: M1, M2, M3, M4, M6 y M7 alcanzan el pH óptimo a las 4.0 horas de fermentación en comparación con las muestras: M5 y M8 que requieren mayor tiempo de fermentación para alcanzar el pH óptimo de 4.70. Así mismo se observa que a medida que se incrementa el tiempo de fermentación, el pH disminuye.

#### **4.8.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR LA ETAPA DE SABORIZACIÓN DEL YOGURT NATURAL PROBIÓTICO ENRIQUECIDO**

Para determinar la saborización del yogurt natural probiótico enriquecido, se procedió a utilizar cuatro esencias (banana, durazno, piña y melón) con la finalidad de mejorar las características organolépticas del producto. Para tal efecto a nivel experimental se

procedió a elaborar cuatro muestras de yogurt natural probiótico enriquecido en base a la formulación de la muestra (Yog2) de la etapa de fermentación final.

En el cuadro 4.5, se puede observar la composición final de la muestra (Yog2) del yogurt natural probiótico enriquecido para la etapa de saborización.

**Cuadro 4.5**  
**Composición de la muestra de yogurt natural probiótico enriquecido para la etapa de saborización**

Muestras	Leche en polvo (%)	Azúcar (%)	Hojuelas (%)	Cultivo probiótico (%)
Yog2	13.00	8.05	0.80	$5 \times 10^{-3}$

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.26, se observa las muestras codificadas en función del sabor de la esencia, colorantes y el porcentaje en las cuatro muestras de yogurt probiótico enriquecido para la etapa de saborización.

**Tabla 4.26**  
**Muestras en función del sabor de la esencia y el colorante**

Muestras	Sabor	Unidad	Esencia(durazno)	Colorante (naranja cochinilla)
MB	Banana	%	0.02	0.05
MD	Durazno	%	0.025	0.10
MP	Piña	%	0.03	0.05
ML	Melón	%	0.06	0.08

**Fuente:** Elaboración propia

Posteriormente se realizó la evaluación sensorial de las muestras, las cuales fueron evaluadas por 20 jueces no entrenados para el atributo sabor en escala hedónica (Anexo B).

#### 4.8.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL ATRIBUTO SABOR EN LA ETAPA DE SABORIZACIÓN

En la tabla 4.27, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial; recopilados del (Anexo C, tabla C.24), para el atributo sabor en la etapa saborización.

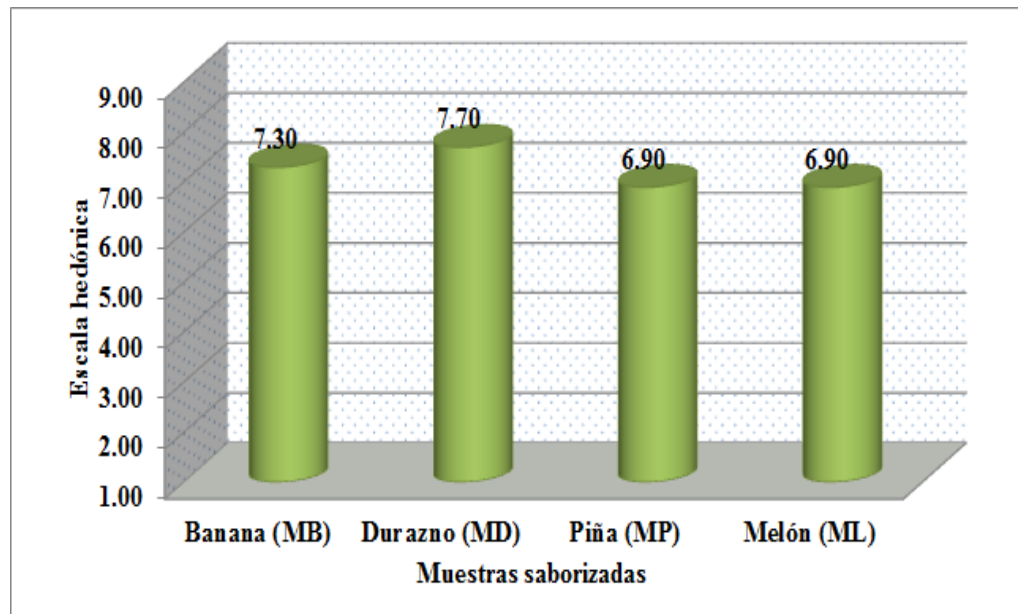
**Tabla 4.27**  
Valores promedios del atributo sabor en la etapa de saborización

Jueces	Muestras (Escala hedónica)			
	MB	MD	MP	ML
1	9	9	7	7
2	9	9	9	9
3	9	9	9	9
4	9	7	7	9
5	7	8	6	4
6	7	6	6	8
7	6	7	8	6
8	6	7	5	5
9	8	9	9	8
10	8	8	6	7
11	8	7	6	6
12	8	9	9	9
13	8	9	6	7
14	5	7	5	6
15	7	8	7	6
16	4	5	7	6
17	6	6	7	6
18	5	6	4	6
19	9	9	8	7
20	8	9	7	7
$\bar{X}_i$	<b>7.30</b>	<b>7.70</b>	<b>6.90</b>	<b>6.90</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.13, se muestran los valores promedios de la evaluación sensorial del atributo sabor en la etapa de saborización, extraídos de la tabla 4.27.

**Figura 4.13**  
**Valores promedios del atributo sabor en la etapa de saborización**



**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.12, se observa que la muestras saborizadas de mayor agrado por los jueces es la muestra MD (durazno) = 7.70; en comparación con las muestras MB (banana) = 7.30, MP (piña) = 6.90 y ML (melón) = 6.90 las cuales tienen un menor puntaje en escala hedónica.

#### **4.8.2.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL ATRIBUTO SABOR EN LA ETAPA DE SABORIZACIÓN**

En la tabla 4.28, se muestra el análisis de varianza para el atributo sabor en la etapa de saborización, en base a los resultados (Anexo C, tabla C.25).

**Tabla 4.28**  
**Análisis de varianza para el atributo sabor en la etapa de saborización**

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
<b>Total</b>	162.80	79	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	8.80	3	2.93	3.54	2.77
<b>Entre jueces</b>	106.80	19	5.62	6.79	1.77
<b>Error</b>	47.20	57	0.83	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.28,  $F_{cal} > F_{tab}$  ( $3.54 > 2.77$ ) para los tratamientos, lo cual existe evidencia estadística de variación entre los valores promedios entre las muestras MB, MD, MP y ML en cuanto al atributo sabor para una  $p < 0.05$ .

#### **4.8.2.- PRUEBA DE DUNCAN PARA EL ATRIBUTO SABOR EN LA ETAPA DE SABORIZACIÓN**

En la tabla 4.29, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan extraídos (Anexo C, tabla 28) para el atributo sabor en la etapa de saborización.

**Tabla 4.29**  
**Prueba de Duncan para el atributo sabor en el proceso de saborización**

Tratamientos	Análisis de los valores	Efectos
<b>MD – MB</b>	$7.70 - 7.30 = 0.40 < 0.57$	No hay diferencia significativa
<b>MD – MP</b>	$7.70 - 6.90 = 0.80 > 0.60$	Si hay diferencia significativa
<b>MD – ML</b>	$7.70 - 6.90 = 0.80 > 0.62$	Si hay diferencia significativa
<b>MB – MP</b>	$7.30 - 6.90 = 0.40 < 0.57$	No hay diferencia significativa
<b>MB – ML</b>	$7.30 - 6.90 = 0.40 < 0.60$	No hay diferencia significativa
<b>MP – ML</b>	$6.90 - 6.90 = 0.00 < 0.57$	No hay diferencia significativa

**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.29, se observa que existe evidencia estadística entre los tratamientos (MD – MP y MD – ML) en comparación a los tratamientos (MD – MB, MB – MP, MB – ML y MP – ML) que no son significativos para un límite de confianza del 95%. Por lo tanto, se puede decir que existe diferencia significativa entre las muestras. Analizando la preferencia de los jueces se tomó como mejor opción la muestra con sabor durazno (7.70) para la etapa de saborización en comparación con las muestras MB (7.30), MP (6.90) y ML (6.90) las cuales tienen un menor puntaje en escala hedónica.

De acuerdo a los resultados obtenidos a nivel experimental, se pudo establecer la formulación y condiciones de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto los cuales son:

- Leche en polvo instantánea: 13.00 %
- Hojuelas de amaranto: 0.80 %
- Azúcar: 8.05 %
- Inoculo:  $5 \times 10^{-3}$  %
- Esencia (sabor durazno): 0.025 %
- Colorante naranja cochinilla: 0.1 %
- Temperatura de fermentación 85 °C
- temperatura de inoculación 44 °C
- Tiempo de fermentación: 4.5 horas
- pH : 4.70
- acidez: 74 °Dornic

#### **4.9.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO TERMINADO YOGURT PROBIÓTICO ENRIQUECIDO CON HOJUELAS DE AMARANTO SABOR DURAZNO**

Para caracterizar el producto terminado (yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno) se tomó en cuenta los siguientes aspectos, como ser:

#### 4.9.1.- ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL PRODUCTO TERMINADO

En la tabla 4.30, se muestra los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico realizado al yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto (Anexo A), realizados en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

**Tabla 4.30**  
**Resultados del análisis fisicoquímico del producto terminado**

Parámetros	Unidad de medida	Resultado
Acidez (como ácido láctico )	%	0.85
Calcio total	mg/100g	106.00
Cenizas	%	0.71
Fibra	%	n.d
Hidratos de carbono	%	18.90
Humedad	%	76.72
Materia grasa	%	0.25
Proteína total (Nx6,38)	%	3.42
Valor energético	Kcal/100g	91.53

**Fuente:** CEANID, 2016

Donde:

n.d = no detectado

En la tabla 4.30, se muestran los resultados del análisis fisicoquímico del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto. El cual contiene acidez (expresado en ácido láctico) 0.85 %, calcio total 106 mg/100 g, cenizas 0.71 %, hidratos de carbono 18.90 %, humedad 76.72 %, materia grasa 0.25 %, proteína total 3.42 % y valor energético 91.53 Kcal/100 g.

#### 4.9.2.- ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO TERMINADO

En la tabla 4.31, se muestra los resultados obtenidos del análisis microbiológico realizado al yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno (Anexo A).



**Tabla 4.31**  
**Análisis microbiológico del producto terminado yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno**

Parámetros	Unidad de medida	Resultado
Coliformes totales	ufc/g	< 10
Coliformes fecales	ufc/g	< 10
Mohos y levaduras	ufc/g	< 10
Bacterias aerobias mesófilas	ufc/g	1.0 x 10 <sup>2</sup>

**Fuente:** CEANID, 2016

Como se puede observar en la tabla 4.31, en base al análisis microbiológico del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto, contiene coliformes totales <10 ufc/g, coliformes fecales < 10 ufc/g, mohos y levaduras <10 ufc/g y bacterias aerobias mesófilas 1.0 x 10<sup>2</sup> ufc/g.

#### **4.9.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO TERMINADO**

Para valorar al producto terminado se procedió a evaluar la muestra de yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno, por 20 jueces no entrenados en cuanto se refiere a los atributos sabor, acidez, textura y consistencia en base a la escala hedónica (Anexo B).

En la tabla 4.32, se muestran los resultados promedios obtenidos de la evaluación sensorial; recopilados del (Anexo C, tabla C.30), para los atributos sabor, acidez, textura y consistencia del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno en base a la escala hedónica.

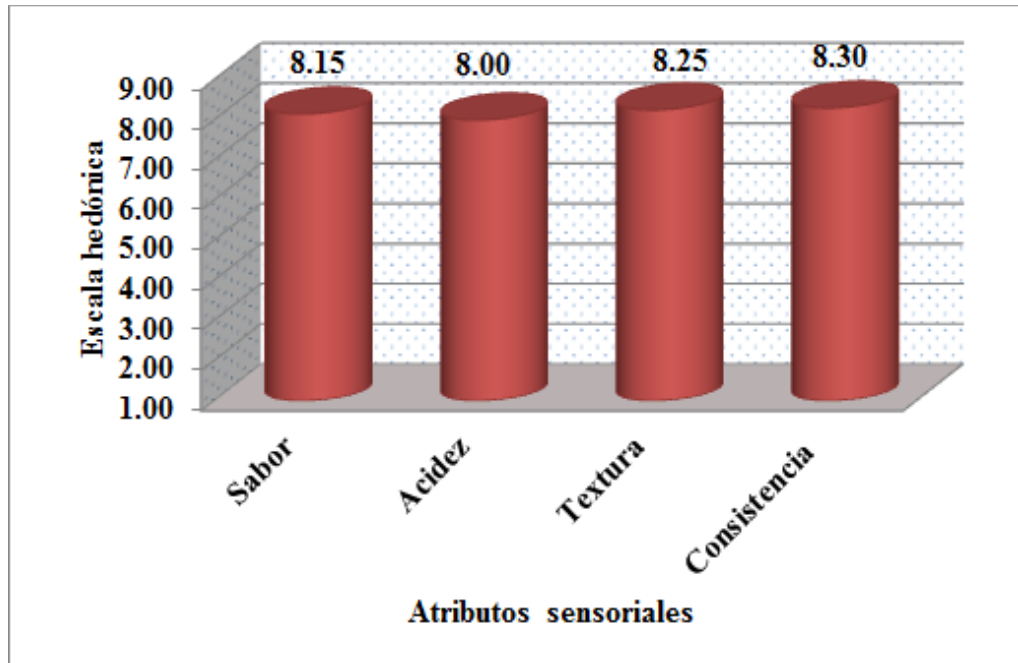
**Tabla 4.32**  
**Valores de los atributos sensoriales del producto terminado yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno**

Jueces	Atributos (Escala hedónica)			
	Sabor	Acidez	Textura	Consistencia
1	8	8	8	8
2	9	8	8	7
3	7	7	8	8
4	8	8	9	8
5	8	8	8	9
6	8	8	8	8
7	8	8	8	8
8	8	8	8	8
9	8	7	8	8
10	9	8	8	9
11	8	8	7	8
12	9	9	9	8
13	8	9	8	8
14	8	8	8	8
15	8	8	8	9
16	9	8	8	9
17	8	8	9	9
18	8	8	9	9
19	8	8	9	9
20	8	8	9	8
$\bar{X}_i$	<b>8.15</b>	<b>8.00</b>	<b>8.25</b>	<b>8.30</b>

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.14, se muestran los valores promedios de los atributos sensoriales del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno en base a los resultados de la tabla 4.32.

**Figura 4.14**  
**Valores promedios de los atributos sensoriales del producto terminado yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno**



**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.14, se observa que los atributos de mayor agrado por los jueces son; textura (8.25) y consistencia (8.30), en comparación con los atributos: sabor (8.15) y acidez (8.00) los cuales tienen menor puntaje en escala hedónica. Por lo tanto el producto presenta unas características aceptable para este tipo de producto.

#### **4.9.3.1.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ATRIBUTOS SENSORIALES DEL PRODUCTO TERMINADO**

En la tabla 4.33, se muestra el análisis de varianza de los atributos sensoriales del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno, en base a los resultados extraídos (Anexo C, tabla C.31).

**Tabla 4.33**  
**Análisis de varianza de los atributos del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno**

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
<b>Total</b>	21.55	79	-	-	-
<b>Entre muestras</b>	1.05	3	0.35	1.52	2.77
<b>Entre jueces</b>	7.55	19	0.40	1.74	1.77
<b>Error</b>	12.95	57	0.23	-	-

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.33,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1.52 < 2.77$ ) para los atributos, por lo que no existe diferencia estadística de variación entre los atributos; por lo tanto, no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$ ; es decir que cualquiera de los atributos puede ser elegido estadísticamente.

En base a la evaluación sensorial realizada se determinó que los atributos: textura (8.25) y consistencia (8.30) tienen mayor puntaje; en comparación con los atributos: sabor (8.15) y acidez (8.00) los cuales tienen menor puntaje en escala hedónica. Así mismo realizado el análisis estadístico para los tratamientos no existe evidencia estadística significativa: ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , para lo cual no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$ .

En tal sentido, el producto terminado tiene una buena aceptación organoléptica en cuanto se refiere a los atributos evaluados por los jueces.

#### **4.9.4.- CONTROL DE pH DEL “YOGURT PROBIÓTICO ENRIQUECIDO CON HOJUELAS DE AMARANTO SABOR DURAZNO” DURANTE EL ALMACENAMIENTO**

Se procedió a realizar el control de pH del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno durante su almacenamiento durante 7 días en condiciones de refrigeración; con la finalidad de verificar si el producto mantiene las condiciones de pH inicial (4.70). Así también sus características fisicoquímicas, como ser: color olor y sabor.

En el cuadro 4.6, se muestran los valores de la variación de pH en función del tiempo de almacenamiento del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno.

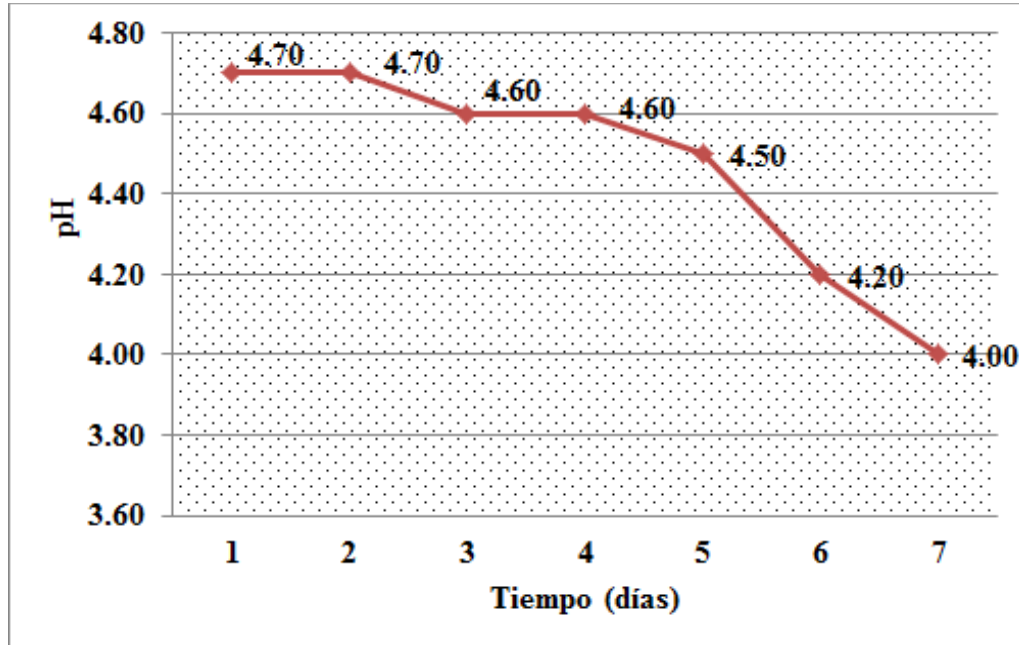
**Cuadro 4.6**  
**Valores de pH del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno**

<b>Días</b>	<b>pH</b>
<b>1</b>	4.70
<b>2</b>	4.70
<b>3</b>	4.60
<b>4</b>	4.60
<b>5</b>	4.50
<b>6</b>	4.20
<b>7</b>	4.00

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 4.15, se muestra los valores de pH en función del tiempo (días) de almacenamiento para el yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno.

**Figura 4.15**  
**Control de pH en la etapa de almacenamiento del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno**



**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 4.15, el valor del pH en el yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno durante el almacenamiento comienza a variar considerablemente desde el 5<sup>to</sup> día (pH = 4.50) hasta el día 7<sup>mo</sup> (pH = 4.20).

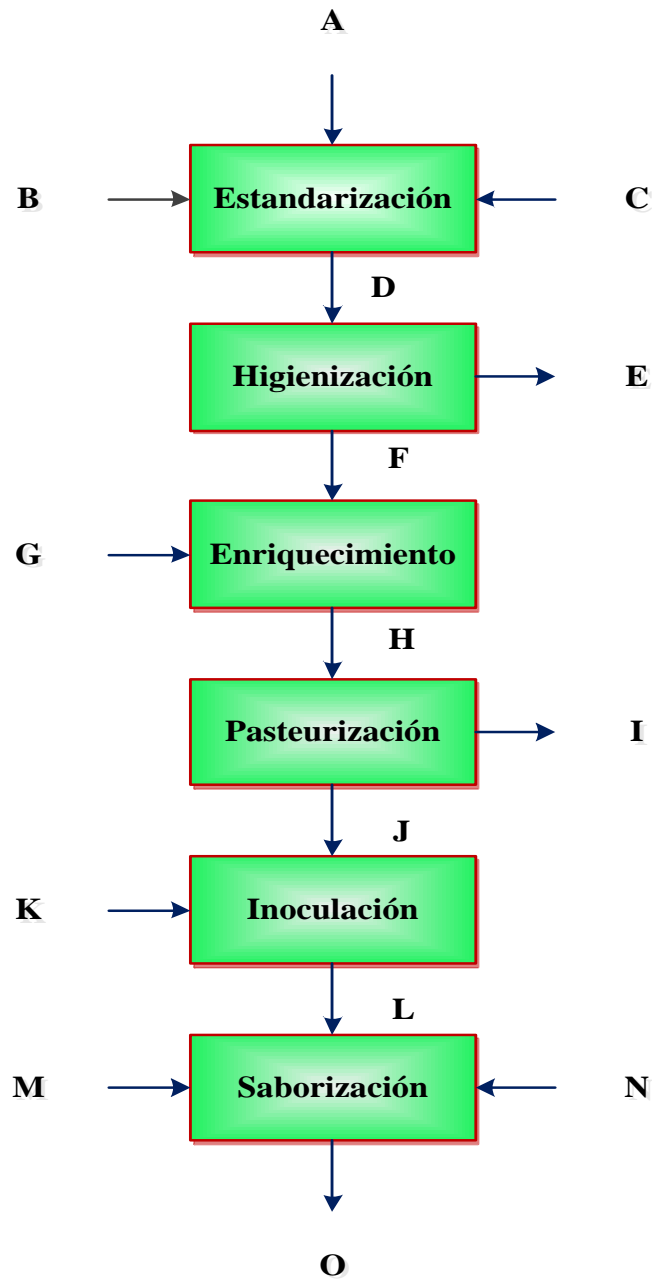
También, se pudo observar organolépticamente que al 6<sup>to</sup> día de almacenamiento el yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno comienza a presentar un olor suave a fermento del cereal, acidez elevada y sabor rancio, por la posible acción de los ácidos grasos.

#### **4.10.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL YOGURT PROBIÓTICO ENRIQUECIDO CON HOJUELAS DE AMARANTO**

El balance de materia se realizó tomando en cuenta el diagrama de bloque para el proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto

sabor durazno, representado en la figura 4.16, en una base de cálculo de 5 litros de mezcla base.

**Figura 4.16**  
**Proceso de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno**



**Fuente:** Elaboración propia

Donde:

A = Leche en polvo instantánea PIL Tarija (g)

B = Agua potable (g)

C = Azúcar (g)

D = Leche estandarizada (g)

E = Impurezas (g)

F = Leche higienizada (g)

G = Hojuelas de amaranto (g)

H = Leche enriquecida (g)

I = Vapor de agua (g)

J = Leche pasteurizada (g)

K = Cultivo lácteo (g)

L = Yogurt natural (g)

M = Esencia de durazno (g)

N = Colorante naranja cochinilla (g)

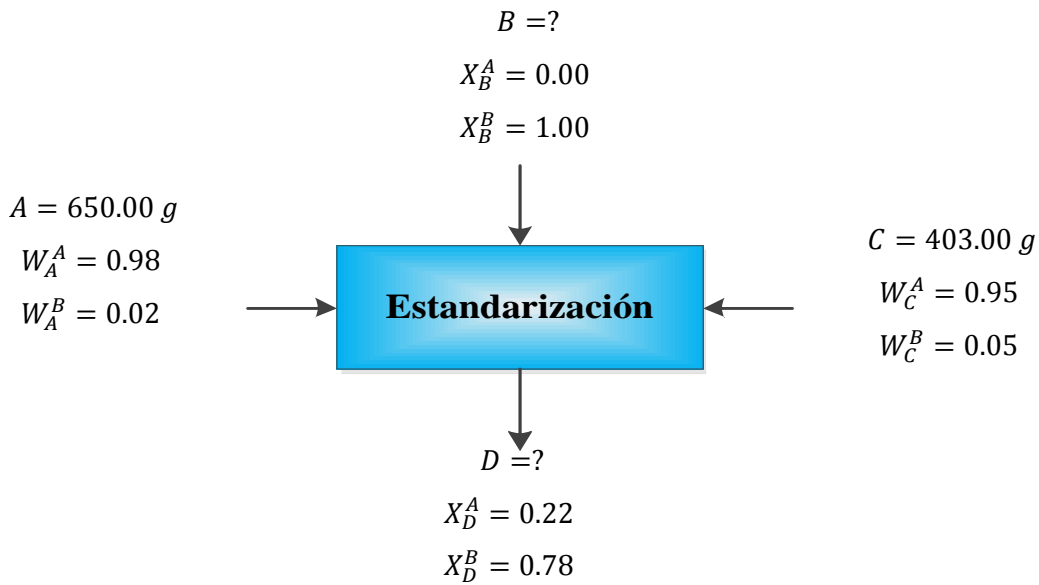
O = Yogurt enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno (g)

#### **4.10.1.- BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE ESTANDARIZACIÓN**

En la figura 4.17, se muestra la etapa de estandarización de la mezcla base, para realizar el balance de materia.



**Figura 4.17**  
**Proceso de estandarización**



Donde:

A= Sólidos

B=Agua

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

$$A + B + C = D \quad (\text{Ecuación: 4.1})$$

**Balance parcial de materia en sólidos en la etapa de estandarización**

$$A * W_A^A + B * X_B^A + C * W_C^A = D * X_D^A$$

$$D = \frac{A * W_A^A + C * W_C^A}{X_D^A} \quad (\text{Ecuación: 4.2})$$

$$D = \frac{650.00 \text{ g} * (0.98) + 403.00 \text{ g} * (0.95)}{0.22}$$

***D = 4635.68 g de leche estandarizada***

Entonces:

$$B = D - A - C \quad (\text{Ecuación: 4.3})$$

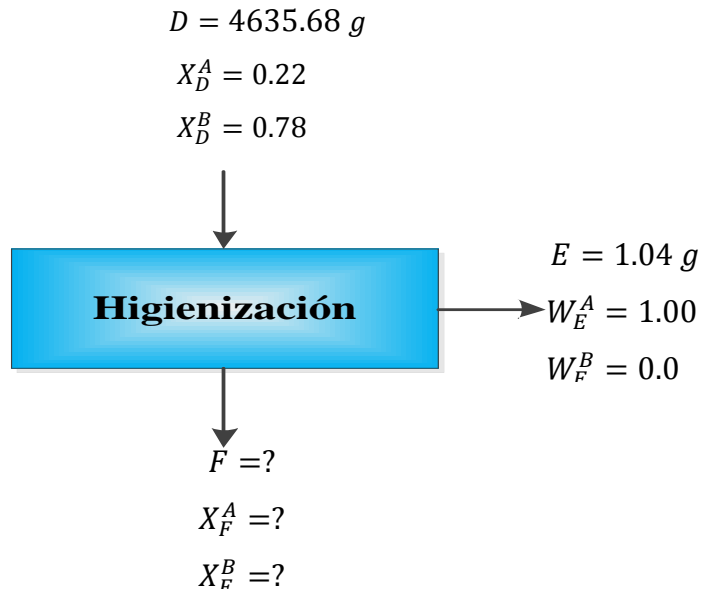
$$B = 4635.68 \text{ g} - 650.00 \text{ g} - 403.00 \text{ g}$$

$B = 3582.68 \text{ g de agua potable}$

#### 4.10.2.- BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE HIGIENIZACIÓN

En la figura 4.18, se muestra la etapa de higienización para realizar el balance de materia.

**Figura 4.18**  
**Etapa de higienización**



#### Balance general de materia en la etapa de higienización

$$D = E + F \quad (\text{Ecuación: 4.4})$$

Entonces:

$$F = D - E \quad (\text{Ecuación: 4.5})$$

$$F = 4635.68 \text{ g} - 1.04 \text{ g}$$

$F = 4634.64 \text{ g de leche higienizada}$

### Balance parcial de materia en sólidos en la etapa de filtración

$$D * X_D^A = E * W_E^A + F * X_F^A \quad (\text{Ecuación: 4.6})$$

$$X_F^A = \frac{D * X_D^A - E * W_E^A}{F} \quad (\text{Ecuación: 4.7})$$

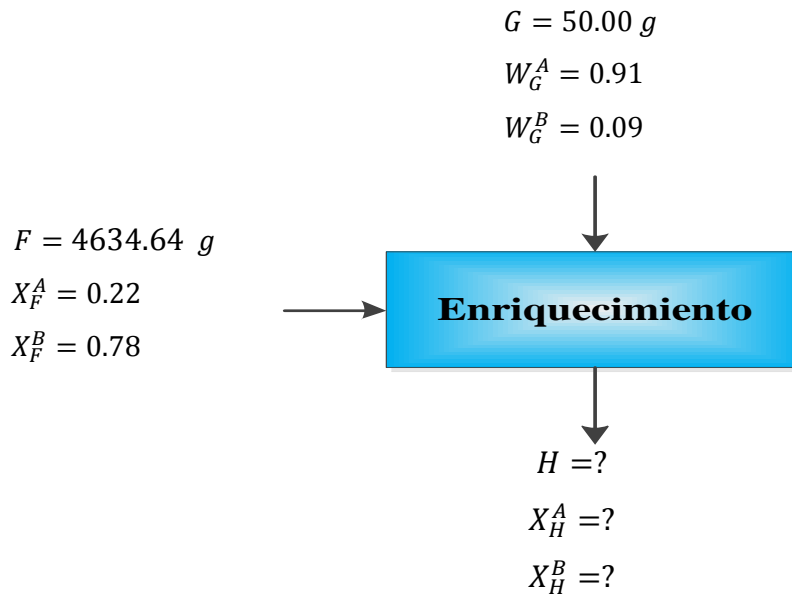
$$X_F^A = \frac{4635.68 \text{ g} * (0.22) - 1.04 \text{ g} * (1.00)}{4634.64 \text{ g}}$$

$X_F^A = 0.22$  *de sólidos en la leche higienizada*

### 4.10.3.- BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE ENRIQUECIMIENTO

En la figura 4.19 se muestra la etapa de enriquecimiento, para realizar el balance de materia.

**Figura 4.19**  
**Etapa de enriquecimiento**



### **Balance general de materia en la etapa de enriquecimiento**

$$F + G = H \quad (\text{Ecuación: 4.8})$$

Entonces:

$$H = F + G \quad (\text{Ecuación: 4.9})$$

$$H = 4634.64 \text{ g} + 50.00 \text{ g}$$

$$H = 4684.64 \text{ g de leche enriquecida}$$

### **Balance parcial de materia en sólidos en la etapa de enriquecimiento**

$$F * X_F^A + G * W_G^A = H * X_H^A$$

$$X_H^A = \frac{F * X_F^A + G * W_G^A}{H} \quad (\text{Ecuación: 4.10})$$

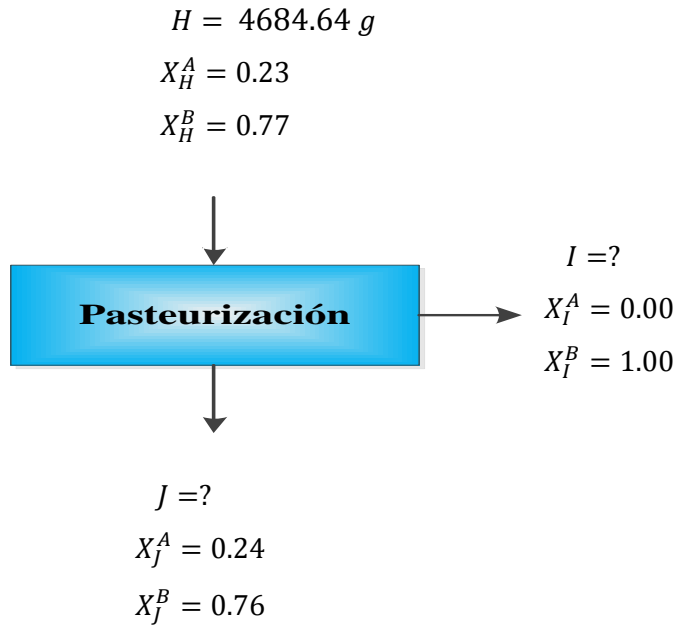
$$X_H^A = \frac{4634.64 \text{ g} * (0.22) + 50.00 \text{ g} * (0.91)}{4684.64 \text{ g}}$$

$$X_H^A = 0.23 \text{ de sólidos en la etapa de enriquecimiento}$$

#### **4.10.4.- BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE PASTEURIZACIÓN**

En la figura 4.20 se muestra la etapa de pasteurización, para realizar el balance de materia.

**Figura 4.20**  
**Etapas de pasteurización**



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

$$H = I + J \quad (\text{Ecuación: 4.11})$$

**Balance parcial de materia en sólidos en la etapa de pasteurización**

$$H * X_H^A = I * X_I^A + J * X_J^A$$

$$J = \frac{H * X_H^A}{X_J^A} \quad (\text{Ecuación: 4.12})$$

$$J = \frac{4684.64 \text{ g} * (0.23)}{0.24}$$

$J = 4489.45 \text{ g de leche pasteurizada}$

Entonces:

$$I = H - J \quad (\text{Ecuación: 4.13})$$

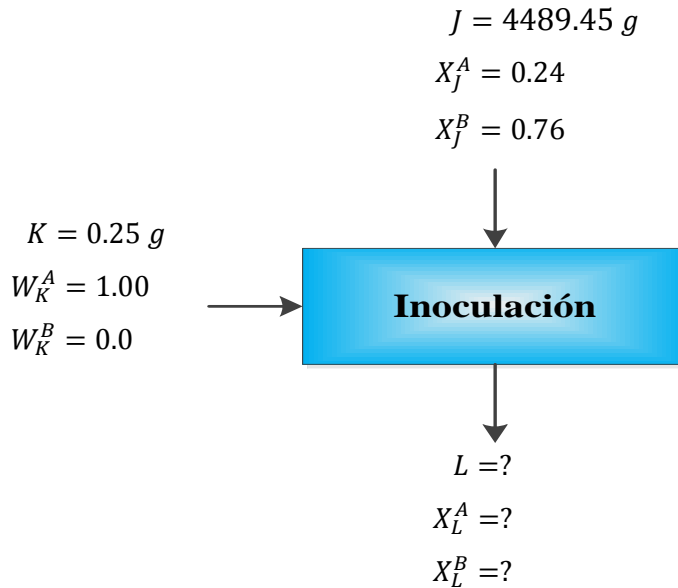
$$I = 4684.64 \text{ g} - 4489.45 \text{ g}$$

$I = 195.19 \text{ g de agua evaporada}$

#### 4.10.5.- BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE INOCULACIÓN

En la figura 4.21 se muestra la etapa de inoculación, para realizar el balance de materia.

**Figura 4.21**  
**Etapa de inoculación**



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

$$J + K = L \quad (\text{Ecuación: 4.14})$$

Entonces:

$$L = J + K \quad (\text{Ecuación: 4.15})$$

$$L = 4489.45 \text{ g} + 0.25 \text{ g}$$

**$L = 4489.70 \text{ g de yogurt natural probiótico}$**

### Balance parcial de materia en sólidos en la etapa de inoculación

$$J * X_J^A + K * W_K^A = L * X_L^A$$

$$X_L^A = \frac{J * X_J^A + K * W_K^A}{L} \quad (\text{Ecuación: 4.16})$$

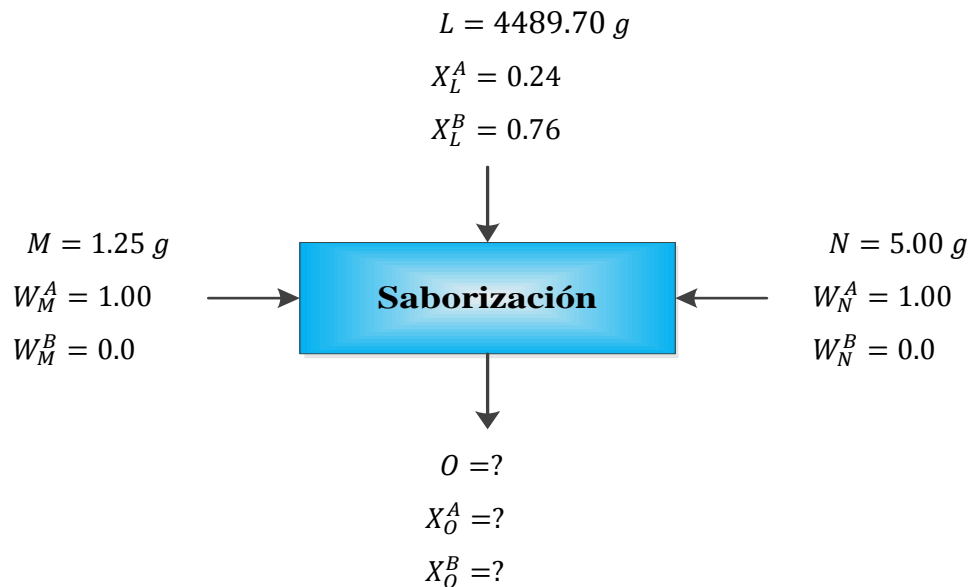
$$X_L^A = \frac{4489.45 \text{ g} * (0.24) + 0.25 \text{ g} * (1.00)}{4489.70 \text{ g}}$$

$X_L^A = 0.24$  de sólidos en la leche inoculada

### 4.10.6.- BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE SABORIZACIÓN

En la figura 4.22, se muestra la etapa de saborización, para realizar el balance de materia.

**Figura 4.22**  
**Etapa de saborización**



### Balance general de materia en la etapa de saborización

$$L + M + N = O \quad (\text{Ecuación: 4.17})$$

$$O = 4489.70 \text{ g} + 1.25 \text{ g} + 5.00 \text{ g}$$

***O = 4495.95 g yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno.***

### Balance parcial de materia en sólidos en la etapa de saborización

$$L * X_L^A + M * W_M^A + N * W_N^A = O * X_O^A$$

$$X_O^A = \frac{L * X_L^A + M * W_M^A + N * W_N^A}{O} \quad (\text{Ecuación: 4.18})$$

$$X_O^A = \frac{4489.70 \text{ g} * (0.24) + 1.25 \text{ g} * (1.00) + 5 \text{ g} * (1.00)}{4495.95 \text{ g}}$$

***X<sub>O</sub><sup>A</sup> = 0.24 de sólidos presentes en el producto final***

### 4.11.- RENDIMIENTO DEL PROCESO

$$R = \frac{\text{Producto}}{\text{Leche enriquecida}} * 100 \% \quad (\text{Ecuación: 4.19})$$

$$R = \frac{4495.95 \text{ g}}{4684.64 \text{ g}} * 100 \%$$

$$R = 95.97 \%$$

El rendimiento del proceso es del **95.97 %**



#### **4.12.- BALANCE DE ENERGÍA PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN YOGURT PROBIÓTICO ENRIQUECIDO CON HOJUELAS DE AMARANTO**

Para realizar el balance de energía en el proceso de elaboración del yogurt enriquecido con hojuelas de amaranto se tomó en cuenta la etapa de calentamiento del agua para utilizada en la etapa de fermentación así mismo la etapa de pasteurización de la mezcla base.

##### **4.12.1.- BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN**

Según (Barderas, 1994), para realizar el balance de energía, se tomó en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$Q_{Total} = Q_{Ganado} + Q_{Cedido} \quad (\text{Ecuación: 4.20})$$

$$Q = m * Cp * \Delta T \quad (\text{Ecuación: 4.21})$$

$$Q_{Ganado} = -Q_{Cedido} + M\lambda \quad (\text{Ecuación: 4.22})$$

Donde:

$Q_T$  = Calor total (Kcal)

$Q_g$  = Calor ganado (Kcal)

$Q_c$  = Calor cedido (Kcal)

$M$  = Agua evaporada

$\lambda$  = Calor latente de vaporización (g)

$Cp$  = Capacidad calorífica (Kcal/Kg °C)

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

#### 4.12.1.1.- CANTIDAD TOTAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA REQUERIDA PARA CALENTAR EL AGUA A 90 °C

Según (Barderas, 1994), calculamos la cantidad de energía eléctrica requerida para calentar el agua de 20 a 90 °C en la etapa de pasteurización.

$$E = P * t \quad (\text{Ecuación 4.23})$$

$$E = 1.31 \text{ watts} * 4.5 \text{ h}$$

$$E = 5.05 \text{ kcal}$$

La energía requerida para la etapa de fermentación es de **5.05 Kcal**

#### 4.12.1.2.- CANTIDAD TOTAL DE CALOR REQUERIDO PARA LA ETAPA DE PASTEURIZACIÓN DE LA MEZCLA A 85 °C

De acuerdo a la ecuación 4.22, se determinó la cantidad de calor requerido para la pasteurización a 85° C de la leche, utilizando las pérdidas de la leche por efecto de incrementar la temperatura de 20 a 85 °C, en base a la ecuación 4.24.

$$Q_2 = (Q_{g2} + M_{leche} * \lambda_{leche}) + (Q_{g1} + M_{H2O} * \lambda_{H2O}) \quad (\text{Ecuación: 4.24})$$

Donde:

$Q_2$  = Calor requerido para la pasteurización a 85 °C

$Q_{g2}$  = Calor ganado por la leche

$Q_{c1}$  = Calor cedido por el agua

$m_{leche}$  = Masa de la leche 5.15 Kg

$m_{H2O}$  = Masa del agua 67.49 Kg

$Cp_{leche}$  = Capacidad calorífica de la leche 0.92 Kcal/Kg°C (Barderas, 1994).

$Cp_{H2O}$  = Capacidad calorífica del agua a 90°C, 1.01 Kcal/Kg°C (Barderas, 1994).

$M_L$  = Masa de leche evaporada 0.20 Kg

$M_V$  = Masa de agua evaporada 0.20 Kg

$T_{i_{H2O}}$  = Temperatura inicial del agua 90 °C

$T_{f_{H2O}}$  = Temperatura final del agua 85 °C

$T_{i_{leche}}$  = Temperatura inicial de la leche 20 °C

$T_{f_{leche}}$  = Temperatura final de la leche 85 °C

$\lambda_{H2O \text{ a } 90^\circ\text{C}}$  = Calor latente de vaporización del agua 545.12 Kcal/Kg (Barderas, 1994).

$\lambda_{leche}$  = Calor latente de la leche 289 Kcal/Kg (Hayes, 1987).

**Entonces:**

Calculamos la cantidad de calor necesario para la pasteurización con la siguiente ecuación (Ecuación: 4.23):

$$Q_2 = [m_{leche} * Cp_{leche}(T_f - T_i) + M_L * \lambda_{leche}] + [m_{H2O} * Cp_{H2O}(T_f - T_i) + M_v * \lambda_{H2O}]$$

$$Q_2 = [4.68 * 0.92(85 - 20) + 0.20 * 289] + [67.49 * 1.01(85 - 90) + 0.20 * 545.12]$$

$$Q_2 = 105.86 \text{ Kcal}$$

La cantidad de calor necesario para la pasteurización de la leche de 20 a 85 °C es de **105.86 Kcal.**

## 5.1.- CONCLUSIONES

- En cuanto a los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la leche entera en polvo PIL Tarija, se pudo constatar que tiene una composición de: acidez (ácido láctico) de 0.15 %, humedad 2.18 %, materia grasa 26.07 %, sólidos no grasos 71.75 %, sólidos totales 97.82 %. En cuanto se refiere al análisis microbiológicos, se tiene: Bacterias aerobias mesófilas < 10 ufc/g, coliformes totales y fecales < 10 ufc/g.
- Dentro del análisis fisicoquímico de las hojuelas de amaranto, se tiene: fibra 4.57 %, materia grasa 5.30 %, humedad 8.56 % y proteína total (Nx6.25) 14.68 %. En el caso del análisis microbiológico, tiene: coliformes totales < 10 ufc/g.
- En la determinación de la muestra preliminar del “Yogurt natural probiótico”, se pudo constatar que la muestra B es la que tiene mayor puntaje para los atributos; grado de dulzor (8.00), textura (7.67) y consistencia (7.53); en comparación con la muestra A que tiene menor puntaje para los atributos: grado de dulzor (7.87), textura (7.47) y consistencia (7.47), en escala hedónica. Así mismo realizado el análisis estadístico para ambos tratamientos no existe evidencia estadística significativa: ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , para una  $p < 0.05$ .
- En la etapa de fermentación inicial, se determinó que la muestra M4 es la que tiene mayor puntaje para el atributo consistencia (7.47); en comparación con las muestras: M1 (6.60); M2 (7.13); M3 (6.93); M5 (7.00); M6 (6.53); M7 (6.73) y M8 (6.53) las cuales tienen un menor puntaje en escala hedónica. Así mismo realizado el análisis estadístico para los tratamientos no existe evidencia estadística significativa: ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , para una  $p < 0.05$ .

- En la determinación del atributo consistencia del yogurt natural probiótico en base al test triangular, se pudo constatar que  $X_{Cal}^2 < X_{Tab}^2$ , por lo cual no existe diferencia entre las muestras. En tal situación se aceptó la hipótesis planteada y no existe diferencia estadística significativa para una  $p < 0.01$ .
- En la etapa de fermentación final, se seleccionó la muestra Yog2 como la mejor opción en cuanto a los atributos: textura (7.85) y consistencia (7.95), en comparación con la muestra Yog1: la cual tiene un menor puntaje para los atributo textura (7.70) y consistencia (7.75). Respecto al atributo acidez la muestra Yog1 (7.90) es la que tiene mayor puntaje en comparación con la muestra Yog2 (7.80) la cual tiene un menor puntaje en escala hedónica. Así mismo realizado el análisis estadístico para los tratamientos no existe evidencia estadística significativa: ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , para una  $p < 0.05$ .
- De acuerdo a los resultados experimentales en la etapa de fermentación, se pudo observar que los factores: cantidad leche en polvo (P), cantidad de hojuelas de amaranto (Q), concentración de cultivo lácteo (R) y las interacciones: (PQ) leche en polvo – hojuelas, (PR) leche en polvo – concentración de cultivo lácteo, (QR) hojuelas - concentración de cultivo lácteo y (PQR) leche en polvo - hojuelas - concentración de cultivo lácteo no son significativos en el proceso de fermentación para un límite de confianza  $p < 0.05$ . En base al análisis estadístico realizado, se puede decir que ningún factor incide directamente en la etapa de fermentación del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.
- En el proceso de fermentación, se pudo determinar que no existe variación significativa entre las muestras analizadas en cuanto al atributo acidez; sólo se observa que a medida que se incrementa el tiempo de fermentación, la acidez expresada en °Dornic aumenta. Resultando la muestra M8 (74 °D) con mayor puntaje en escala hedónica y tiempo de fermentación de 4.5 horas.

- En el proceso de fermentación, se pudo determinar que las muestras analizadas: M1, M2, M3, M4, M6 y M7 alcanzan el pH óptimo a las 4.0 horas de fermentación en comparación con las muestras: M5 y M8 requiere mayor tiempo de fermentación para alcanzar el pH óptimo de 4.70. Así mismo se observa que a medida que se incrementa el tiempo de fermentación, el pH disminuye.
- En la etapa de saborización, se pudo observar que existe evidencia estadística entre los tratamientos (MD – MP y MD – ML) en comparación a los tratamientos (MD – MB, MB – MP, MB – ML y MP – ML) que no son significativos para un límite de confianza del 95.00 %. Por lo tanto, se puede decir que existe diferencia significativa entre las muestras. Analizando la preferencia de los jueces se tomó como mejor opción la muestra con sabor durazno (7.70) para la etapa de saborización en comparación con las muestras MB (7.30), MP (6.90) y ML (6.90) las cuales tienen un menor puntaje en escala hedónica.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la etapa de saborización, se pudo establecer la formulación y condiciones de elaboración del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno los cuales son: leche en polvo instantánea (13.00 %), hojuelas de amaranto (0.80 %), azúcar (8.05 %), inóculo ( $5 \times 10^{-3}$  %), esencia sabor durazno (0.025 %), colorante (0.10 %), tiempo de fermentación (4.5 horas), pH (4.7) y acidez: 74 °Dornic.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del producto terminado, se tiene: acidez (expresado en ácido láctico) 0.85 %, calcio total 106 mg/100 g, cenizas 0.71 %, fibra 0%, hidratos de carbono 18.90 %, humedad 76.72 %, materia grasa 0.25%, proteína total 3.42 % y valor energético 91.53 Kcal/100g. Respecto al análisis microbiológico, se tiene: coliformes totales <10 ufc/g, coliformes fecales < 10 ufc/g, mohos y levaduras <10 ufc/g y bacterias aerobias mesófilas  $1.0 \times 10^2$  ufc/g.

- En la valoración del producto terminado, determinó que los atributos: textura (8.25) y consistencia (8.30) tienen mayor puntaje; en comparación con los atributos: sabor (8.15) y acidez (8.00) los cuales tienen menor puntaje en escala hedónica. Así mismo realizado el análisis estadístico para los tratamientos se puede decir que no existe evidencia estadística significativa: ya que  $F_{cal} < F_{tab}$ , para lo cual no se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0.05$ . De esta manera se concluye, que el producto terminado tiene una buena aceptación organoléptica en cuanto a sus atributos sensoriales evaluados.
- De acuerdo a los valores obtenidos de pH en la etapa de almacenamiento, se pudo comprobar que el pH del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno comienza a variar considerablemente desde el 5<sup>to</sup> día (pH = 4.50) hasta el día 7<sup>mo</sup> (pH = 4.20). También, se pudo observar organolépticamente que al 6<sup>to</sup> día de almacenamiento del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto sabor durazno presenta un olor suave a fermento del cereal, acidez elevada y sabor rancio.

## 5.2.- RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar los análisis de control de calidad respectivos a la materia prima para evitar que peligros microbiológicos o de cualquier otro tipo incidan en la elaboración (etapa de fermentación) del yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto, con el fin de obtener un producto inocuo para el consumidor.
- Promocionar el producto en el mercado local ya que es innovador y cuenta con excelentes beneficios nutricionales, el mismo que puede ser consumido especialmente por niños en edad escolar y mujeres en etapa de gestación, así también por personas que gozan de buena salud para evitar enfermedades gastrointestinales incluyendo el cáncer de colon debido a su alto valor nutritivo y nutracéutico.
- Estudiar el efecto de la inclusión de otro tipo de cereales como ser: Chía y Cañahua para determinar y comparar su efecto en cuanto a la composición fisicoquímica, microbiológica y organoléptica para valorar al yogurt probiótico enriquecido con hojuelas de amaranto.