

## 1.1.- ANTECEDENTES

Los beneficios del yogur no son nuevos, en el imperio romano se utilizaba para purificar la sangre y contra los problemas intestinales. La tradición persa indica que la longevidad y fecundidad de Abraham se debía a que lo ingería con frecuencia. Por otro lado, su uso culinario también tiene incontables registros en los textos antiguos. En la Biblia aparece mencionado como ‘leben’ y se lo describe también en Las mil y una noches como uno de los manjares de sabrosos banquetes, mientras que en los libros de recetas tradicionales árabes lo citan con frecuencia (Herrera, 1965).

Algunos sostienen que el origen de la palabra con el que hoy lo conocemos es turco y otros búlgaro; lo cierto es que apareció por primera vez en un diccionario árabe-turco en el año 1071. Pero es recién a principios del siglo XX que se empieza a estudiar de una manera científica sus propiedades. En el año 1908 contribuyeron a ello el trabajo del biólogo Stamen Grigorov, que descubrió el microorganismo que provoca la fermentación en la leche para obtener este producto. Fueron también fundamentales las investigaciones que realizó el ruso Ilya Ilyich Metchnikov, investigador del instituto Pasteur de Francia, que registró los efectos del yogur en la flora bacteriana y en los problemas intestinales. El biólogo sostuvo luego que el intestino puede mantenerse en buen estado y libre de bacterias perjudiciales, si se ingiere de manera regular y constante éste derivado de la leche (Barco, 2007).

En Tarija en el año 1978, se inicia la Planta Industrializadora de Leche Pil, en 1996 se instala una nueva planta procesadora de lácteos “PROLAC”; y en 1997 la planta procesadora de lácteos “DEL RANCHO” (Del Rancho, 2007).

La industria láctea en Bolivia depende de la producción de yogur e inclusive probiótico. Por otro lado, en el comercio se tienen productos probióticos extranjeros que no son accesibles económicamente para toda la población; y es por eso que se

busca introducir al mercado local un producto nutritivo, beneficioso para la salud, de excelente calidad y económicamente accesible para el consumidor.

A las bacterias buenas o beneficiosas, se las llama probióticos; pero también se definen como: aditivos alimentarios de microorganismos vivos (Barco, 2007).

Los probióticos han sido consumidos por centurias alrededor del mundo, en forma de alimentos fermentados o cultivados, como yogur, queso cottage y leche de granos (Barco, 2007).

En 1965 Lilly y Stillwell utilizaron por primera vez el término probiótico para nombrar los productos de la fermentación gástrica. Esta palabra, se deriva de dos vocablos del latín, pro que significa por o a favor de, y del griego bios que quiere decir vida (Barco, 2007).

En la actualidad la definición de probióticos a sido dada por Fuller en 1989 “Aquellos microorganismos vivos, principalmente bacterias y levaduras, que son agregados como suplemento en la dieta y que afectan en forma beneficiosa al desarrollo de la flora microbiana en el intestino (Barco, 2007).

En Bolivia se ha introducido el uso de estos probióticos dentro de la medicina como medida profiláctica y terapéutica a problemas gastrointestinales.

La chía es un antiguo cultivo de América. Originada en las zonas montañosas de México y Guatemala, se cree que forma parte de la alimentación humana desde el año 3500 a.c. Las civilizaciones precolombinas, principalmente la azteca, la tuvieron entre sus cultivos principales (Ayerza y Coates, 2010).

Hasta aquí, un alimento con historia; pero ocurre que la semilla de chía, una planta conocida entre los científicos como salvia hispánica, también tiene mucho futuro:

contiene un 30% de aceite, del cual más del 60% es Omega-3, un ácido graso esencial para el organismo humano (Crettaz, 2004).

En Bolivia los cultivos y distribución de la semilla de chía, dependen de los Departamentos de La Paz y Santa Cruz, siendo en el año 2010 que se logró una exportación de 728 mil dólares. Es una de las especies vegetales con mayor concentración de Omega-3 (MDP, 2002).

## **1.2.- JUSTIFICACIÓN**

- El presente trabajo, surge como una alternativa para solucionar los problemas de enfermedades diarreicas y desnutrición (especialmente en niños), ya que su consumo protege a la flora microbiana normal del intestino, evitando además otro tipo de patologías.
- Este tipo de producto (yogur probiótico), puede funcionar perfectamente como un sustituto alimenticio de los derivados lácteos, para personas que no toleran la lactosa.
- Este proyecto de investigación puede lograr satisfacer las necesidades de algunos consumidores que no toleran productos (yogur) muy ácidos; ya que las bacterias utilizadas, no producen los niveles de acidez del yogur tradicional.
- La elaboración de yogur probiótico, permitirá motivar al sector productivo de leche en la región a incrementar su producción lechera para coadyuvar el desarrollo agroindustrial del departamento de Tarija.

- Este producto, surge como una alternativa para mejorar el consumo de fibra natural a partir de la semilla de chía, especial para personas con problemas de constipación.

### **1.3.- OBJETIVOS**

Los objetivos a desarrollar en el presente trabajo son:

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

Elaborar yogur probiótico por el proceso de fermentación láctica, utilizando semilla de chía como fuente de Omega-3, para obtener un producto nutritivo y beneficioso para la salud.

#### **1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la composición fisicoquímica y microbiológica de la materia prima, con la finalidad de conocer su composición.
- Determinar las variables del proceso fermentativo como ser pH, temperatura y tiempo, para conocer las condiciones de fermentación.
- Identificar el pH durante el proceso de almacenamiento, con el fin de valorar al producto terminado.
- Determinar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del producto terminado, con la finalidad de conocer su composición.
- Determinar las corrientes de entrada y salida del nivel experimental, para conocer el balance de materia y energía del proceso.

#### **1.4.- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál será el proceso de fermentación láctea a utilizarse, para la elaboración de yogur probiótico, usando semilla de chía como fuente de Omega-3 para obtener un producto nutritivo y beneficioso para la salud?

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

Utilizando el proceso adecuado de fermentación láctea, cultivos lácteos probióticos y semilla de chía como fuente de Omega-3, se podrá obtener un producto beneficioso y nutritivo para la salud.

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

La leche es el producto íntegro, no alterado y sin calostro, procedente del ordeño higiénico, regular, completo e interrumpido de las hembras domésticas sanas y bien alimentadas (Zamora, 2009).

Desde un punto de vista biológico, la leche es el producto de la secreción de las glándulas de hembras mamíferas, cuya función natural es la alimentación de los recién nacidos (Zamora, 2009).

Según Ordoñez, 1998, desde un punto de vista fisicoquímico, la leche es una mezcla homogénea de un gran número de sustancias (lactosa, glicéridos, proteínas, sales, vitaminas, enzimas, etc.) que están unas en emulsión (grasa y sustancias asociadas), algunas en suspensión (caseína ligada a sales minerales) y otras en disolución verdadera (lactosa, vitaminas hidrosolubles, proteínas del suero, sales, etc.).

No todas las leches de los mamíferos poseen las mismas propiedades. Por regla general puede decirse que la leche es un líquido de color blanco mate y ligeramente viscoso, cuya composición y características físico-químicas varían sensiblemente según las especies animales, e incluso según las diferentes razas. Estas características también varían en el curso del período de lactación, así como en el curso de su tratamiento (Inlac, 2006).

### **2.1.1.- CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS DE LA LECHE**

Según (Domínguez, 2001), las características más destacadas de la leche de vaca son:

a) **ASPECTO**

La leche fresca es de color blanco aporcelanado, presenta una cierta coloración crema cuando es muy rica en grasa. La leche descremada o muy pobre en contenido graso presenta un color blanco con un ligero tono azulado.

b) **OLOR**

Cuando la leche es fresca casi no tiene un olor característico, pero adquiere con mucha facilidad el aroma de los recipientes en los que se la guarda; una pequeña acidificación ya le da un olor especial al igual que ciertos contaminantes.

c) **SABOR**

La leche fresca tiene un sabor ligeramente dulce, dado por su contenido de lactosa. Por contacto, puede adquirir fácilmente el sabor de hierbas.

### **2.1.2.- PROPIEDADES FÍSICAS DE LA LECHE**

Según Alaís, 1985, las propiedades físicas de la leche son:

a) **DENSIDAD**

La densidad de la leche puede fluctuar entre 1,028 a 1,034 g/cm<sup>3</sup> a una temperatura de 15°C; su variación con la temperatura es 0,0002 g/cm<sup>3</sup> por cada grado de temperatura.

La densidad de la leche varía entre los valores dados según sea la composición de la leche, pues depende de la combinación de densidades de sus componentes, que son los siguientes:

- agua: 1,000 g/cm<sup>3</sup>
- grasa: 0,931 g/cm<sup>3</sup>
- Proteínas: 1,346 g/cm<sup>3</sup>
- Lactosa: 1,666 g/cm<sup>3</sup>
- Minerales: 5,500 g/cm<sup>3</sup>

La densidad mencionada (1,028 y 1,034) g/cm<sup>3</sup> es para una leche entera, pues la leche descremada está por encima de esos valores alrededor de 1,036 g/cm<sup>3</sup>, mientras que una leche aguada tendrá valores menores a 1,028 g/cm<sup>3</sup>.

#### b) **pH DE LA LECHE**

La leche posee un pH neutro que puede variar de 6,50 a 6,65. Valores distintos de pH, se producen por deficiente estado sanitario de la glándula mamaria, por la cantidad de CO<sub>2</sub> disuelto; por el desarrollo de microorganismos, que desdoblan o convierten la lactosa en ácido láctico; o por la acción de microorganismos alcalinizantes.

#### c) **ACIDEZ DE LA LECHE**

Una leche fresca posee una acidez de 0,15 a 0,16%. Esta acidez, se debe en un 40% a la anfotérica, el otro 40% al aporte de la acidez de las sustancias minerales, CO<sub>2</sub> disuelto y acidez orgánica; y el 20% restante se debe a las reacciones secundarias de los fosfatos.

Una acidez menor al 15% puede ser debido a la mastitis, al aguado de la leche o bien por la alteración provocada con algún producto alcalinizante.

Una acidez superior al 16%, es producida por la acción de contaminantes microbiológicos. (La acidez de la leche puede determinarse por titulación con NaOH 0,1N ó 0,09N).



d) **VISCOSIDAD**

La leche natural, fresca, es más viscosa que el agua, tiene valores entre 1,7 a 2,2 cp para la leche entera; mientras para una leche descremada tiene una viscosidad alrededor de 1,2 cp. La viscosidad disminuye con el aumento de la temperatura hasta alrededor de los 70°C, por encima de esta temperatura aumenta su valor.

e) **PUNTO DE CONGELACIÓN**

El valor promedio es de -0,54°C que puede variar de -0,513°C a -0,565°C. Como se puede apreciar es menor al del agua, y es consecuencia por la presencia de sales minerales y lactosa.

f) **PUNTO DE EBULLICIÓN**

La temperatura de ebullición es de 100,17°C.

g) **CALOR ESPECÍFICO**

La leche completa tiene un valor de (0,93 – 0,94) cal/g °C, la leche descremada 0,94 a 0,96 cal/g °C.

### **2.1.3.- PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA LECHE**

La leche es un líquido de composición compleja, se puede aceptar que está formada aproximadamente por un 12,5% de sólidos o materia seca total y un 88,5% de agua (Dargal, 2006).

El agua es el soporte de los componentes sólidos de la leche y se encuentra presente en dos estados: como agua libre que es la mayor parte (intersticial) y como agua adsorbida en la superficie de los componentes (Dargal, 2006).

En lo que se refiere a los sólidos o materia seca la composición porcentual más comúnmente hallada según (Aláis, 1985), es la siguiente:

- Materia grasa (lípidos): 3,5% a 4,0%
- Lactosa: 4,7% (aproximada)
- Sustancias nitrogenadas: 3,5% (proteínas entre ellos)
- Minerales: 0,8%

A pesar de estos porcentajes en la composición de la leche se acepta como los más comunes, no es fácil precisar con certeza los mismos, pues dependen de una serie de factores, aun para una misma vaca no solo varía la composición, sino también la producción (Aláis, 1985).

Esto hace que no todas las leches sean iguales en sus propiedades y la variación en la composición hace que determinadas leches sean útiles para la elaboración de un cierto derivado lácteo, pero a su vez es inapropiada para otros. De la misma manera, se tendrá algunas leches más nutritivas que otras (Aláis, 1985).

#### **2.1.4.- COMPOSICIÓN FISICOQUÍMICA DE LA LECHE**

En la tabla 2.1, se muestran los elementos que según (Dargal, 2006), intervienen en la composición de las leches de vaca, búfalo y humano por cada 100 g.

**Tabla 2.1**  
**Composición de la leche de diferentes especies**

<b>Nutrientes</b>	<b>Vaca</b>	<b>Búfalo</b>	<b>Humano</b>
Agua (g)	88,0	84,0	87,5
Energía (kcal)	61,0	97,0	70,0
Proteína (g)	3,2	3,7	1,0
Grasa (g)	3,4	6,9	4,4
Lactosa (g)	4,7	5,2	6,9
Minerales (g)	0,72	0,79	0,20

**Fuente: Dargal, 2006**

**a) AGUA**

La leche suministra una gran cantidad de agua, con un contenido aproximadamente del 90%. La cantidad de agua en la leche es regulada por la lactosa que se sintetiza en las células secretoras de la glándula mamaria. El agua que va en la leche es transportada a la glándula mamaria por la corriente circulatoria (Dargal, 2006).

**b) HIDRATOS DE CARBONO**

Según (Dargal, 2006), el principal hidrato de carbono en la leche es la lactosa. A pesar de que es un azúcar, la lactosa no se percibe por el sabor dulce. La concentración de lactosa en la leche es relativamente constante entre 5%. Las moléculas de lactosa, se encuentra constituida y se encuentran en una concentración mucho menor en la leche: glucosa (14 mg/100 g) y galactosa (12 mg/ 100 g).

En una proporción significativa de la población humana, la deficiencia de la enzima lactasa en el tracto digestivo resulta en la incapacidad para digerir la lactosa. La mayoría de los individuos con baja actividad de lactasa desarrollan síntomas de intolerancia a grandes dosis de lactosa, pero la mayoría puede consumir cantidades moderadas de leche sin padecer malestares (Dargal, 2006).

No todos los productos lácteos poseen proporciones similares de lactosa. La fermentación de lactosa durante el procesado baja su concentración en muchos productos, especialmente en los yogures y quesos (Dargal, 2006).

### **c) PROTEÍNAS**

La mayor parte del nitrógeno de la leche se encuentra en la forma de proteína. Los bloques que construyen a todas las proteínas son los aminoácidos. Existen 20 aminoácidos que se encuentran comúnmente en las proteínas. El orden de los aminoácidos en una proteína, se determina por el código genético, y le otorga a la proteína una conformación única. Posteriormente, la conformación espacial de la proteína le otorga su función específica (Dargal, 2006).

Según (Dargal, 2006), la concentración de proteína en la leche varía de 3,0 a 4,0%. El porcentaje varía con la raza y en relación con la cantidad de grasa. Existe una estrecha relación entre la cantidad de grasa y la cantidad de proteína en la leche, cuanto mayor es la cantidad de grasa, mayor es la cantidad de proteína. Las proteínas se clasifican en dos grandes grupos: caseínas (80%) y proteínas séricas (20%).

### **d) GRASA**

Según (Dargal, 2006), la grasa constituye el 3,5 hasta 6,0% de la leche, variando entre razas de vacas y con las prácticas de alimentación. Una ración demasiado rica en concentrados que no estimula la rumia en la vaca, puede resultar en una caída en el porcentaje de grasa (2,0 a 2,5%). Esta grasa, se encuentra presente en pequeños glóbulos suspendidos en agua. Cada glóbulo se encuentra rodeado de una capa de fosfolípidos, que evita que los glóbulos se aglutinen entre sí repeliendo otros glóbulos de grasa y atrayendo agua, formando una emulsión.

Esta es una característica única de la grasa de la leche comparada con otras clases de grasas animales y vegetales. Los ácidos grasos de cadena larga en la leche son principalmente los insaturados (deficientes en hidrógeno), siendo los predominantes el oleico y los polinsaturados linoléico y linolénico (Dargal, 2006).

#### e) **MINERALES Y VITAMINAS**

En la tabla 2.2, se muestran las concentraciones de minerales y vitaminas que según (Smallwood et al, 1968), contiene la leche.

**Tabla 2.2**  
**Concentraciones minerales y vitamínicas en la leche**

<b>Minerales</b>	<b>mg/100 ml</b>	<b>Vitaminas</b>	<b>0,001 g/100 ml<sup>1</sup></b>
Potasio	138,0	A	30,0
Calcio	125,0	D	0,06
Cloro	103,0	E	88,0
Fósforo	96,0	K	17,0
Sodio	8,0	B1	37,0
Azufre	3,0	B2	180,0
Magnesio	12,0	B6	46,0
Minerales trazas	<0,1	B12	0,42
		C	1,7

**Fuente: Smallwood et al, 1968**

Incluye cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, selenio, yodo y otros (Smallwood et al, 1968).

La leche es una fuente excelente de minerales para el crecimiento del lactante. La digestibilidad del calcio y fósforo es generalmente alta, en parte debido a que se encuentran en asociación con la caseína de la leche (Fawcet et al, 1999).

Como resultado, la leche es la mejor fuente de calcio para el crecimiento del esqueleto del lactante y el mantenimiento de la integridad de los huesos en el adulto. Otro mineral de interés en la leche es el hierro, es esencial para el crecimiento de muchas bacterias (McGee, 2004).

## f) ENZIMAS

En la leche de vaca se han detectado 60 enzimas diferentes cuyo origen es difícil de determinar. Puede decirse que proceden algunas de las células del tejido mamario, algunas del plasma sanguíneo y otras de los leucocitos de la sangre (Smallwood, 1968). Las enzimas, se encuentran en bajas concentraciones; pero como catalizadores bioquímicos pueden provocar importantes cambios (Aláis, 1985).

Según (Ordóñez, 1998), las enzimas son importantes por las siguientes razones:

- Algunas son agentes que provocan la hidrólisis de los componentes de la leche (proteasas, lipasas, etc.).
- La sensibilidad al calor de algunas de ellas, se utiliza para controlar tratamientos térmicos (fosfatasa alcalina y lactoxidasa).
- Su origen sirve como índice de contaminación microbiana (superóxido dismutasa).
- Su actividad bacteriana puede inhibir el crecimiento microbiano (sistema lactoperoxidasa-tiocianato).

Según (Ordóñez, 1998), las enzimas de la leche pueden clasificarse en:

### 1. HIDROLASAS

- ❖ Lipasas: Es la principal enzima lipolítica de la grasa, es una glicoproteína que alcanza su mayor actividad a un pH 7-8, puede hidrolizar triglicéridos de cadena corta y larga, fosfolípidos monoglicéridos y ésteres sintéticos. Su termolabilidad es manifiesta, ya que pierde su actividad a temperaturas de pasteurización.
- ❖ Proteasas: La actividad proteolítica endógena de la leche, está representada por proteasas diferentes: una alcalina y otra ácida. La alcalina tiene un pH óptimo de actuación igual a 8,0; de actividad semejante a la tripsina y

asociada a las miscelas de la caseína. Su actividad recae sobre las caseínas  $\alpha_{s2}$  y  $\beta$  aunque también se muestra activa frente a las caseínas  $\kappa$  y  $\alpha_{s1}$ . La acción puede ocasionar serios defectos en los productos lácteos sometidos a un tratamiento UHT (sabor amargo y cambios en la viscosidad).

- ❖ La proteasa ácida presenta un óptimo de actuación a pH 4, y es más termolábil que la proteasa alcalina. Su acción se centra sobre la  $\alpha_{s1}$  caseína, generando  $\lambda$ -caseínas.
- ❖ Fosfatasas: Hidrolizan los ésteres de ácido fosfórico. Se han identificado dos: una alcalina y otra ácida. La alcalina se encuentra en la capa externa de la membrana del glóbulo graso, es una glicoproteína y se considera como la bacteria más termo resistente de las que se encuentran en la leche. La destrucción de la enzima asegura la desaparición de los patógenos y la salubridad de la leche, por ello su desactivación se usa para controlar el proceso de pasteurización, sin embargo a de tomarse en cuenta que después de cierto tiempo de almacenamiento, ésta puede reactivarse.
- ❖ La acida se presenta a una concentración menor a la alcalina, su pH óptimo es de 4,5 y también se encuentra asociada a la membrana del glóbulo graso.

## 2. OXIDASAS

- Lactoperoxidasa: Es una glicoproteína que confiere la capacidad de catalizar las reacciones oxidativas de los ácidos grasos; aparece asociada a las proteínas del lactosuero, es más resistente al calor que la fosfatasa alcalina, por lo que se utiliza también para controlar la pasteurización. Su importancia es que tiene la capacidad de inhibir el crecimiento microbiano bacterias (Gram+ y Gram-).
- Xantin Oxidasa: Es una flavoproteína y está asociada a la membrana del glóbulo graso.
- Catalasa: Es una enzima que puede potenciar la oxidación de los ácidos grasos insaturados, y también se encuentra asociada a la membrana del

glóbulo graso; su determinación es un índice indirecto de la calidad higiénica de la leche, puesto que en las leches mastíticas y en el calostro se encuentra en cantidades superiores a las de la leche normal.

- Superóxido Dismutasa: Es una metaloproteína que permite la formación de compuestos oxidantes como el oxígeno en singlete y de radicales hidroxilo que pueden causar la oxidación de los lípidos, la destrucción de membranas biológicas y la degradación de macromoléculas.
- Sulfidriloxidasas: Es una enzima que cataliza la formación de puentes disulfuro a partir de los grupos sulfidrilo libres.

### **3. TRANSFERASAS**

- Es una enzima que cataliza la transferencia de un grupo funcional metilo o fosfato de una molécula donadora u otra aceptora.
- La transferasa más sobresaliente de la leche es la lactosa sintetasa, una galactosiltransferasa que cataliza la biosíntesis de la lactosa.

#### **2.1.5.- MICROBIOLOGÍA DE LA LECHE**

La leche debido a su composición química y su elevada actividad de agua, es un magnífico sustrato para el crecimiento de una gran diversidad de microorganismos. De entre los que se pueden encontrar en la leche, unos son beneficiosos (por ejemplo, bacterias lácticas), algunos son alterantes y otros son perjudiciales para la salud. La contaminación de la leche ocurre ya en las zonas inferiores del interior de la ubre y cuando el producto abandona ésta, la leche está expuesta a múltiples contaminaciones externas (Ordoñez, 1998).

De acuerdo a la (UMNS, 2000), los grupos microbianos más importantes en lactología se pueden dividir, desde un punto de vista funcional en:



1. Bacterias lácticas.
2. Bacterias esporuladas.
3. Bacterias psicrotrofas, bacterias de origen fecal y microorganismos patógenos.
4. Grupo misceláneo. Bacterias lácticas

El desarrollo microbiano en la leche ocasiona una serie de modificaciones químicas que pueden dar lugar a procesos alterativos y útiles. Muchos de sus componentes pueden degradarse, pero las alteraciones más acusadas resultan de la degradación de los tres fundamentales: lactosa, proteínas y grasa (UMNS, 2000).

La lactosa, azúcar de la leche, es la principal fuente de energía de las bacterias y puede experimentar diferentes fermentaciones. Cualesquiera que sean las bacterias que fermentan la lactosa, siempre habrá producción de ácidos orgánicos, con la coagulación o no de las proteínas de la leche (dependiendo del nivel de acidificación) y la formación o no de gas. Por otra parte, algunas bacterias que actúan sobre el azúcar de la leche, pueden formar sustancias viscosas (UMNS, 2000).

Las proteínas, en general, se descomponen tras la coagulación de la leche, dando lugar a sabores y olores desagradables. La materia grasa es hidrolizada por las lipasas microbianas, reacción lenta, que influye rápidamente sobre el sabor de la leche (Fox y McSeeney, 2003).

Dentro de los tipos de deterioro que suelen observarse en la leche cruda se incluyen: la fermentación, coagulación, proteólisis, mucosidad, coloraciones diversas, y producción de aromas; y sabores anormales (Reyes et al, 2000).

#### **2.1.6.- TIPOS DE LECHE**

Según (Reyes et al, 2000), el contenido de materia grasa suelen clasificarse en:

- ❖ **Entera:** contiene como mínimo el 3% de grasa.
- ❖ **Semi-desnatada:** contienen el 1,5% de grasa, la separación de la grasa se consigue por centrifugación.
- ❖ **Desnatada:** contiene en 0,5% de grasa, es conocida también como descremada.

## 2.2.- CARACTERÍSTICAS 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).

Bajo la denominación específica de yogurt, se incluyen las leches fermentadas fundamentalmente con *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*.

Según (Barco, 2007), estos dos microorganismos 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.

Pero existen también otras leches fermentadas que llevan otros microorganismos; por el cual identifican al producto como ser *L. casei inmutass* o *Bifidobacterium bifidus* (Barco, 2007).

### 2.2.1.- CLASIFICACIÓN DEL YOGUR

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

➤ **Según su consistencia:**

- a. Yogur firme
- b. Yogur batido
- c. Yogur líquido

➤ **Según su sabor:**

- a. Yogur natural
- b. Yogur con frutas
- c. Yogur aromatizado

### 2.2.2.- VALOR NUTRICIONAL DEL YOGUR

En la tabla 2.3, se detalla el contenido nutricional del yogur según (Keating et al, 1999).

**Tabla 2.3**  
**Contenido nutricional del yogur de leche pasteurizada**

Nutrientes	Aporte alimenticio por 200 g	Cantidad diaria recomendada	
		Hombre	Mujer
Valor energético (Kcal)	122		
Proteínas	3,3%	.	.
Grasas totales	3,5%		
Carbohidratos	4%	.	.
<b>Minerales (mg)</b>	.	<b>Hombre</b>	<b>Mujer</b>
Calcio	415	800	800
Hierro	0,18	10	18
Magnesio	40	350	300
Fósforo	326	800	800
Zinc	2	15	15
<b>Vitaminas (mg)</b>			
Vitamina C	1,8	45	45
Vitamina B1- Tiamina	0,10	1,4	1,2
Vitamina B2- Riboflavina	0,36	1,6	1,2
Vitamina B12 (ug)	12,8	30	30

**Fuente: Keating et al, 1999**

Según (Mahaut et al, 2004), 200g de yogur natural tiene el mismo valor nutritivo que un vaso de leche, como ser:

- 4-5% de proteínas
- Contenido variable de lípidos
- 5,20% de glúcidos según esté o no azucarado

Pero durante el proceso de fermentación, se producen en la leche numerosas modificaciones, algunas de las cuales hacen que el yogur sea un producto con mayor valor nutritivo que la leche (Mahaut et al, 2004).

### **2.2.3.- FERMENTACIÓN**

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

#### **2.2.3.1.- FERMENTACIÓN ÁCIDO LÁCTICA**

Este tipo de fermentación, se lleva a cabo por bacterias ácido lácticas; cuya actividad se desarrolla en ausencia de oxígeno y se manifiesta en la transformación de los azúcares presentes en ácido láctico, etanol, dióxido de carbono y otros (Flores, 1997).

Durante la fermentación, la producción de ácido láctico se debe al *Streptococcus Thermophilus* y el sabor característico del yogur, es producido por el *Lactobacillus Bulgaricus*, ambos cultivos pueden producir polímeros extracelulares que contribuyen a la viscosidad del yogur (Gómez et al, 1999). Según Inlac, 2006, la fermentación ácido láctica, es la responsable de la producción de productos lácteos acidificados como el yogur, cuajada, quesos, crema acida, etc.

## **2.2.4.- TECNOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL YOGUR**

Las consideraciones del proceso de elaboración del yogur, son aplicables a otros tipos de leches fermentadas (Ordoñez, 1998). Cuya descripción se detalla:

### **❖ Recepción y control de materias primas**

En las centrales lecheras se analiza rutinariamente la leche en el momento de su recepción, para asegurarse que cumple los requisitos indispensables para poder procesarla.

### **❖ Enriquecimiento en sólidos lácteos**

Implica un incremento de la concentración de sólidos para conseguir las propiedades reológicas deseadas en el yogur. El objetivo primordial, es aumentar el porcentaje de sólidos lácteos no grasos y porcentaje de proteína. Con el fin de potenciar la viscosidad del producto terminado. Los métodos empleados para el enriquecimiento son:

- Concentración mediante calentamiento (no se usa comercialmente).
- Adición de leche o productos lácteos en polvo.
- Concentración mediante evaporación a vacío.
- Concentración mediante filtración por membrana (ultrafiltración u ósmosis inversa).

### **❖ Filtración**

La filtración, se recomienda 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.

## ❖ Tratamiento térmico

Según (Ordóñez, 1998), los efectos de este tratamiento térmico pueden resumirse en:

- **Microorganismos:** Prácticamente se destruyen todas las formas vegetativas, mientras que las esporuladas se mantienen viables. Puede asegurarse que se elimina toda la microbiota patógena no esporulada. Además, la reducción de la carga microbiana garantiza que el iniciador encontrará un sustrato bastante libre de competidores y crecerá velozmente.
- **Enzimas endógenas de la leche:** Los tratamientos térmicos utilizados no destruyen completamente todas las enzimas de la leche, pero las que mantienen su actividad no entrañan problemas para las leches fermentadas.
- Las proteínas del suero se desnaturalizan parcialmente y pueden crear nuevos enlaces y unirse consigo mismas o con otros componentes de la leche. Las *B-lactoglobulinas* pueden formar agregados uniéndose unas moléculas con otras, pero también pueden depositarse sobre la micela de caseína, uniéndose covalentemente con moléculas de *k-caseína* (enlaces disulfuro). Estos insumos aumentan la viscosidad del yogur.
- Con el calentamiento se induce la insolubilización del fosfato de calcio y otros iones, que pasarán a formar parte de la fase coloidal. Esto no tiene repercusión en la formación del gel por acidificación.
- Se reduce la cantidad de oxígeno disuelto, con lo que se crean unas condiciones de microaerófila favorables para el crecimiento del cultivo iniciador.
- Al desnaturalizarse las proteínas del suero por acción del calor pueden liberarse compuestos nitrogenados de baja masa molecular que pueden estimular el desarrollo de los microorganismos iniciadores.

### ❖ **Adición del cultivo iniciador**

Antes de añadir el cultivo iniciador a la leche, ésta debe enfriarse hasta 43°C. Esta temperatura es la misma de incubación y depende, fundamentalmente, de las características del cultivo iniciador. El iniciador puede añadirse en polvo, congelado concentrado o en forma de una suspensión líquida.

En el caso concreto del yogur, el cultivo iniciador añadido no debe aportar sólo un abundante número de microorganismos viables sino que, además, debe proporcionar una población en equilibrio con el mismo número de individuos de las dos especies que intervienen en la fermentación (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii sbsp. Bulgaricus*). La cantidad de inóculo que se utiliza generalmente, es de 2-3% del volumen total de la leche para yogur, 10% en el caso de iniciadores probióticos. En el yogur, se pretende que la tasa inicial de microorganismos sea bastante elevada, del orden de  $10^7$  ufc/ml para que la fermentación se produzca con rapidez.

### ❖ **Incubación**

La acidificación de la leche durante la fabricación del yogur, es un proceso biológico que debe controlarse al máximo una higiene esmerada y el uso de unas condiciones de incubación definidas.

Para obtener yogur suele incubarse a 42°C, 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 yogur se prolonga.

### ❖ **Enfriamiento**

Su finalidad es frenar la actividad del iniciador y sus enzimas para evitar que la fermentación continúe. Se recomienda que la temperatura final del yogur no exceda los 5°C, de esta forma, la coexistencia de pH bajo y temperatura de refrigeración actúan sinérgicamente para mantener el yogur en un estado apropiado para su consumo durante 15 o 20 días, para lo cual se utiliza agua a temperatura ambiente y finalmente se llevan los tachos a refrigeración.

### ❖ **Envasado**

El envasado es una etapa muy importante del proceso de elaboración del yogur. Paine, 1967, 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 deben ser atóxicos 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 plásticos 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 et al, 1991), entre los distintos materiales que pueden ser utilizados para yogur, se incluyen al polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC) y cloruro de polivinilideno (PVDC).



## 2.2.5.- PROBLEMAS DURANTE LA ELABORACIÓN DEL YOGUR

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

### 2.2.5.1.- DEFECTOS DEL ASPECTO Y TEXTURA

Dentro de los defectos que se pueden presentar en el aspecto y textura son:

- ✚ **Decantación y sinéresis**, debido a una mala fermentación (sobre acidificación o post-acidificación), debido a una temperatura demasiado elevada o una refrigeración excesivamente larga.
- ✚ **Producción de gas**, debido a la presencia de coliformes o levaduras.
- ✚ **Separación de una capa de nata**, consecuencia de una homogeneización insuficiente o inexistente.
- ✚ **Separación de suero**, causado por agitación o vibraciones durante el transporte después de la refrigeración en la cámara fría.
- ✚ **Falta de firmeza (yogures tradicionales)**, producida cuando la proporción de inóculo es muy baja, o condiciones de incubación inadecuadas.
- ✚ **Consistencia excesivamente líquida (yogures batidos)**, por un batido demasiado intenso, bajo contenido en extracto seco, tiempo de incubación muy corto, o la utilización de fermentos que no son suficientemente espesantes.
- ✚ **Consistencia demasiado espesa**, debido a la siembra de fermentos inadecuados o temperatura de incubación muy baja.
- ✚ **Textura arenosa**, por muchos factores: extracto seco demasiado alto, tratamiento térmico muy fuerte, homogeneización a temperaturas muy altas, acidificación irregular y también a un batido incorrecto.

### 2.2.5.2.- DEFECTOS DEL SABOR

Dentro de los defectos que se pueden presentar en el sabor son:

- ✚ **Amargor**, cuando la actividad proteolítica de los fermentos es excesiva, o por contaminación de gérmenes proteolíticos.

- ✚ **Mucha acidez**, debido a un fallo en el control de la fermentación, dosis de fermento demasiado elevada, incubación demasiado larga o temperatura muy alta, enfriamiento muy lento o durante poco tiempo.
- ✚ **Falta de acidez**, por la utilización de un fermento poco activo, incubación excesivamente corta o temperatura muy baja, o por la presencia de inhibidores o bacteriófagos.
- ✚ **Sabor a levadura**, por contaminación de levaduras.
- ✚ **Sabor a rancio**, por gérmenes lipolíticos.
- ✚ **Sabor a moho (yogures con fruta)**, debido al empleo de fruta de mala calidad que contiene mohos.
- ✚ **Carencia de aroma**, a causa de un contenido de extracto seco bajo, un desequilibrio de la flora (demasiados estreptococos) o una incubación muy corta o a una temperatura muy baja.
- ✚ **Sabor arenoso**, mucha cantidad de leche en polvo.
- ✚ **Sabor oxidado**, por falta de protección a la luz (vasitos de cristal) o a la presencia de metales.
- ✚ **Sabor agrio**, por contaminación de flora láctica salvaje o por coliformes.
- ✚ **Sabor grasoso**, cuando el contenido de materia grasa es muy elevado.

### 2.2.5.3.-MODIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS DURANTE LA FERMENTACIÓN

Según (Tamine et al, 1991), las modificaciones son las siguientes:

- a) Los estárteres del yogur, metabolizan la lactosa presente en la leche para cubrir sus necesidades energéticas, dando lugar a la formación de ácido láctico y de otros compuestos importantes.
- b) La producción gradual de ácido láctico comienza a desestabilizar los complejos de caseína-proteínas del lactosuero desnaturalizadas, por solubilización del fosfato cálcico y de los citratos.
- c) Los agregados de micelas de caseína y/o las micelas aisladas se van asociando y coalescen parcialmente a medida que el pH se aproxima a su punto isoelectrico, es decir 4,6 – 4,7.

## 2.3.- YOGUR PROBIÓTICO

El yogur probiótico es un yogur suave, con cultivo de bacterias probióticas, que se obtiene por acidificación de la leche mediante la fermentación producida por bacterias ácido lácticas que producen mínimo el 95% 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 productos, los llamados "alimentos funcionales" (Bioforce, 2008).

Los alimentos probióticos contienen microorganismos que influyen positivamente en el bienestar, gracias a que mejoran el equilibrio microbiológico de la flora intestinal. Entre los muchos microorganismos probióticos, los más empleados son las bacterias del tipo bifidus, particularmente *Bifido longum BB536* (Bioforce, 2008).

### 2.3.1.- INFORMACIÓN NUTRICIONAL DEL YOGUR PROBIÓTICO

En la tabla 2.3, se muestra la composición nutricional del yogur probiótico por cada 100 g.

**Tabla 2.4**  
**Información nutricional del yogur probiótico**

Componentes	Cantidad por porción		% IDR (Índice de refracción)
Valor Energético	88/370	Kcal/KJ	***
Carbohidratos	16	g	12
Proteínas	2,70	g	8
Grasas Totales	1,50	g	***
Grasas Saturadas	0,90	g	***
Sodio	47	mg	***
Vitamina B <sub>2</sub>	0,14	mg	16
Vitamina B <sub>12</sub>	0,33	µg	18
Calcio	108	mg	15

**Fuente: Danone, 2002-2005**

## **2.4.- ORIGEN DE LAS BACTERIAS PROBIÓTICAS**

Los primeros alimentos con bacterias probióticas tienen sus orígenes en Japón en 1920. A mediados del siglo XX comienzan los estudios en humanos con estas bacterias (Coronado, 2001).

### **2.4.1.- CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PROBIÓTICOS**

Un probiótico (alimento funcional), 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 microflora intestinal (Tello, 2000).

Según (Ordoñez, 1998), los criterios básicos para considerar a un microorganismo como probiótico son los siguientes:

- El probiótico debe ser capaz de ser preparado de un modo viable y a gran escala.
- Debe ser capaz de sobrevivir en el ecosistema intestinal.
- El huésped debe beneficiarse de alojar al probiótico.
- Estable en medio ácido y en Bilis.
- Capacidad de adherirse ávidamente a las células de la mucosa intestinal del hombre.
- Capacidad de sobrevivir a las condiciones del tubo digestivo en sus diferentes tramos.
- Capacidad de colonizar el intestino del hombre.
- Producir sustancias antimicrobianas que pueden inhibir el crecimiento de otros microorganismos no deseables.
- Colonizar el intestino durante tratamientos con penicilina, ampicilina, o eritromicina.

Según (Coronado, 2011), los probióticos tienen varios mecanismos de acción:

- Producen compuestos que inhiben el crecimiento de bacterias gram(+) y gram(-).
- Se unen al epitelio entérico con lo que favorecen la resistencia a la colonización inhibiendo competitivamente la adherencia de bacterias patogénicas: *Lactobacillus gg* y *Lactobacillus plantarum* inhiben la adherencia de la *E. Coli*, *Saccharomyces boulardii* inhibe la adherencia de *E. histolytica*.
- Compiten por nutrientes de otro modo consumidos por gérmenes patogénicos: El consumo de monosacáridos por un probiótico puede reducir el crecimiento de *Clostridium difficile* que es dependiente de un monosacárido para crecer.
- Estimulan la producción de anticuerpos. *Ejemplo: Lactobacillus gg* contra Rotavirus.

Las bacterias probióticas estimulan las funciones protectoras del sistema digestivo. Son también conocidos como bioterapéuticos, bioprotectores o bioprolácticos y se utilizan para prevenir las infecciones entéricas y gastrointestinales. Para que un microorganismo pueda realizar esta función de protección tiene que cumplir los postulados de Huchetson: ser habitante normal del intestino, tener un tiempo corto de reproducción, ser capaz de producir compuestos antimicrobianos y ser estable durante el proceso de producción, comercialización y distribución para que pueda llegar vivo al intestino. Es importante que estos microorganismos puedan ser capaces de atravesar la barrera gástrica para poder multiplicarse y colonizar el intestino (Robertfroid, 2000).

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 inmunomodulación protegen al huésped de las infecciones, induciendo a un aumento de la

producción de inmunoglobulinas, aumento de la activación de las células mono-nucleares y de los linfocitos (Farland, 2000).

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

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 tipos de microorganismos causen enfermedades al ser humano. A veces estas bacterias benéficas mueren debido al estrés, el clima, enfermedades crónicas, consumo de alimentos contaminados y la ingesta de ciertos medicamentos. Uno de los mejores alimentos para aumentar la cantidad de estos saludables microorganismos es el yogur probiótico (Briancon, 2010).

##### **2.4.2.1.- REFUERZAN LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO**

Los cultivos de bacterias lácticas probióticas como los que se encuentran en productos terapéuticos de la medicina moderna son los *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum* y *Bifidobacterium longum*, tomados a diario como un complemento de la dieta, contribuyen a conservar intacto el equilibrio de la flora intestinal y se encargan de reforzar las defensas naturales (Guarner, 2000).

##### **2.4.2.2.-CONTRIBUYEN A LA DEGRADACIÓN DE LA LACTOSA DURANTE EL PROCESO DE FERMENTACIÓN**

Los cultivos probióticos producen la enzima lactasa, con la que degradan activamente la lactosa, una ventaja importante para quienes no toleran la lactosa de la leche (Guarner, 2000).

#### **2.4.2.3.- PREVIENE LA DIARREA**

Las bacterias lácticas inhiben el crecimiento de diversos microorganismos patógenos o dañinos, por lo que son beneficiosas en caso de diarrea de distinto origen; la que cursa tras la toma de antibióticos, por virus o bacterias, etc. Del mismo modo, los fructooligosacaridos (FOS) al ser prebióticos, afectan al hábitat 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).

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

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

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

Los FOS 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).

#### **2.4.3.- ALGUNAS BACTERIAS PROBIÓTICAS Y LOS EFECTOS REPORTADOS**

Los efectos reportados de las bacterias probióticas según (Maurer, 2004), son:

- *Lactobacillus Acidophilus LCI*: Mejora el sistema inmune, se adhiere a las células intestinales, equilibra la flora intestinal.

- *L. Acidophilus NCF01748* : Reduce enzimas fecales, previene la diarrea generada por radioterapia, tratamiento contra el estreñimiento.
- *L. Rhamnosus GG*: Previene la diarrea ligada al uso de antibióticos, tratamiento y prevención de la diarrea de Rotavirus, tratamiento de diarrea generada por *Clostridium Difficile*, alivia el Colon Irritable o enfermedad de *Crohn*, Antagonista de bacterias carcinogénicas.
- *L. Casei Shirota*: Previene alteraciones intestinales, equilibra bacterias intestinales, reduce las enzimas fecales, inhibe cáncer vesicular superficial.
- *L. gasseri*: Reduce las enzimas fecales.
- *Bifidobacterim Bifidus*: Tratamiento de la diarrea de Rotavirus, equilibra la microflora intestinal, tratamiento de diarrea viral.
- *Saccaromyces Boulardii*: Previene la diarrea del viajero, tratamiento y prevención de la diarrea *Clostridium Difficile*.

## 2.5.- TIPOS DE LECHE FERMENTADAS PROBIÓTICAS

Según (Ordóñez, 1998), estos productos pueden ser naturales, aromatizados, batidos, etc. Es muy frecuente combinarlos con *Streptococcus thermofilus*, ya que este último metaboliza rápidamente la lactosa y baja el pH con gran celeridad, acortando considerablemente el tiempo necesario para la fermentación. Además, consume oxígeno, lo que facilita el desarrollo de *Bifidobacterium*. Tanto el *estreptococo* como las bacterias probióticas deben alcanzar un nivel de  $10^7$  a  $10^8$  ufc/g al final del proceso. Se han elaborado industrialmente muchos productos probióticos, como ser:

- **Bioghurt modificado.** En este se intento sustituir *Lb. Delbrueckii Subs. bulgaricus* por *Lb. Acidophilus* en la fabricación del yogurt, pero no se tuvo mucho éxito porque este último no crece bien en leche y modifica el sabor típico del yogur.
- **Cultura.** La consistencia de este producto es de un yogur natural batido. Se ha desarrollado en Dinamarca. Se hace a partir de leche entera homogeneizada, enriquecida con proteínas y tratada por el calor. Se fermenta con una elevada



concentración de *Bf. Bifidum* y *Lb acidophilus* a 37°C durante 16 horas, hasta alcanzar la acidez deseada.

- **Biograde.** El iniciador consta de *St. Thermophilus*, *Lb. Acidophilus* y *Bf bifidum*. Se ha desarrollado en Alemania.
- **Bifigurt.** Desarrollado en Alemania, se elabora con leche tratada térmicamente, a la que se le añade un 6% de un cultivo iniciador compuesto por *Bf longum* y *St. Thrmophilus*.
- **Biokys.** Se desarrollo en la antigua Checoslovaquia. Este producto incluye *Bf. Bifidum* junto a otras bacterias lácticas. Para fabricarlo, se toman nueve partes de leche, se inoculan con el 1% de una mezcla de *Bf. Bifidum* y *Pediococcus acidilactici* ; se fermentan a 37°C. La parte de leche restante, se inocula con un 1% de *Lb. Acidophilus* y se fermenta a 30°C.
- **Progurt.** Derivado lácteo desarrollado en Chile, que se prepara por fermentación de leche en polvo reconstituida y pasteurizada con 1-3% de un cultivo mezcla de *Lactococcus lactis Subs. diacetylactis* y *Lc. Lactis subsp. cremoris* (1:1), hasta lograrse un 0,7-0,8% de ácido láctico. Seguidamente, se elimina parte del suero y se añade nata (0,5-1,0) % de un cultivo que contiene *Lb. Acidophilus* y/o *Bf. Bifidum*.
- **Actimel.** Está fermentado por las bacterias del yogurt y *Lc. Casei*.

## 2.6.- INSUMOS Y ADITIVOS PARA LA ELABORACIÓN DE YOGUR PROBIÓTICO

Los insumos y aditivos utilizados en la elaboración de yogurt probiótico con Omega-3 son:

### 2.6.1.- 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 lactosa. Según (Ordoñez, 1998), en el yogur participan:

- ❖ ***Streptococcus Thermophilus***: Son Gram(+) homofermentadores (homolácticas, fermentan hexosas pero no hexosas, de glucosa pasa a lactato como producto final), microaerófilos, producen L (+) lactato, acetaldehído y diacetilo a partir de la lactosa en la leche. Su Temperatura óptima es de 37°C. Requieren de vitaminas del grupo B y algunos aminoácidos como estimulantes de su crecimiento.
  
- ❖ ***Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus***: (homofermentadores y heterofermentadores, esta última fermenta hexosas, de glucosa pasa a lactato, CO<sub>2</sub>, acetaldehído y diacetilo). Produce D (+) lactato y acetaldehído a partir de lactosa en la leche, a diferencia de las otras subespecies, *delbrueckii* y *lactis*, que solo producen lactato. Algunas producen exopolisacáridos. Crecen muy despacio por debajo de 10°C y la mayoría de las cepas pueden crecer a 50-55 °C.

Estas dos bacterias crecen simbióticamente (se reproducen sin afectarse unas a otras, más bien se benefician incrementando sus acciones). El resultado del crecimiento conjunto, es que se acelera el metabolismo y se logra la misma concentración de ácido láctico y de otros metabolitos, en un tiempo menor que si ambos crecieran por separado. De esta forma, el tiempo de incubación necesario para obtener yogur, se reduce a cuatro horas a una temperatura de 42°C (Ordoñez, 1998).

***Lb. Delbrueckii subsp. Bulgaricus*** libera, a partir de las proteínas lácteas, diversos aminoácidos (valina, ácido glutámico, triptófano y metionina) y algunos péptidos que estimulan el crecimiento de ***St. Thermophilus***. A su vez, esta bacteria produce formiato durante el metabolismo de la lactosa y CO<sub>2</sub> a partir de

la urea presente en la leche. Ambos metabolitos estimulan el desarrollo del lactobacilo (Ordoñez, 1998).

La generación del aroma del yogur, es igualmente más pronunciada en el cultivo mixto, siendo *Lb. Delbrueckii subsp. Bulgaricus* la especie fundamentalmente implicada en la liberación de acetaldehído (Ordoñez, 1998).

En otras leches fermentadas pueden encontrarse muchos tipos de bacterias lácticas, en este caso se usaron:

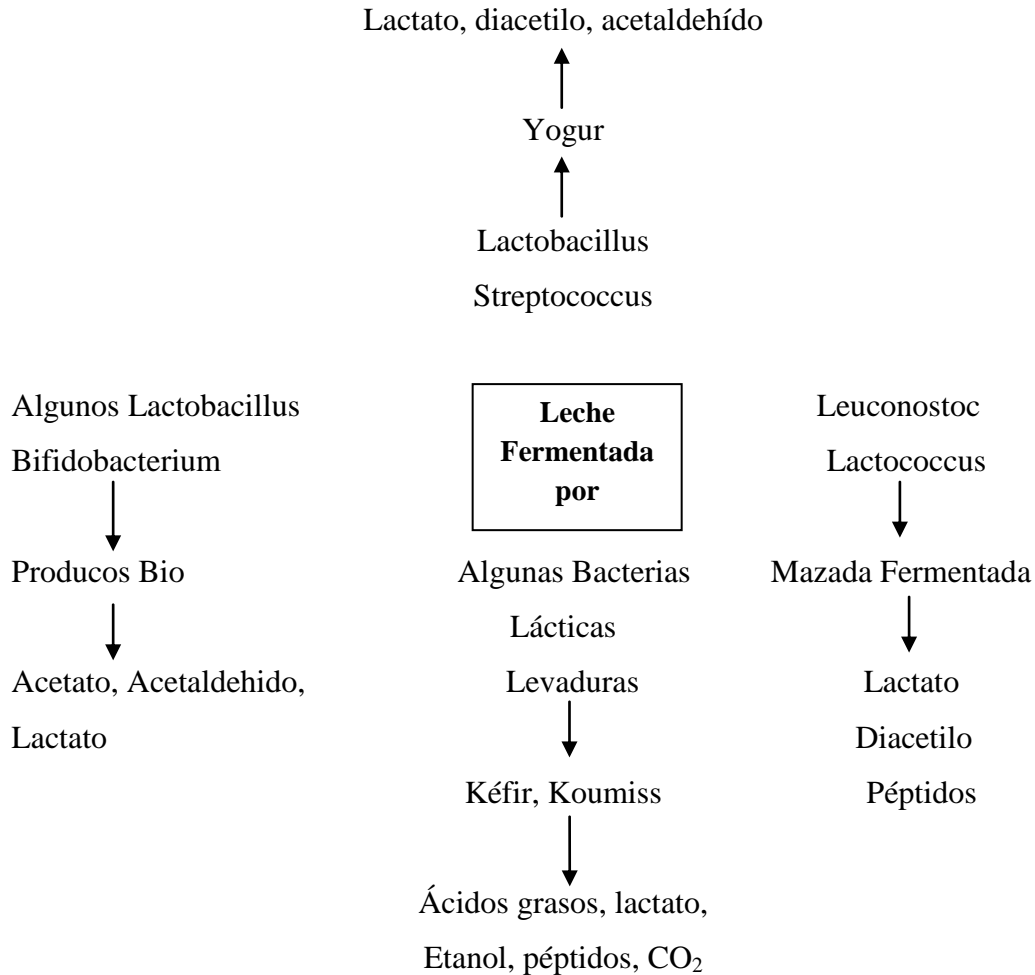
- ❖ *Bifidobacterium spp*: Su hábitat natural es el intestino grueso de los animales de sangre caliente. Son Gram (+) y la mayor parte de las cepas son sensibles al O<sub>2</sub>. Se utilizan por sus efectos probióticos, no como un iniciador propiamente dicho (Ordoñez, 1998).

Siempre se emplean conjuntamente con otra u otras bacterias lácticas, debido a su escaso crecimiento en leche, la consecuente es una mínima producción de ácido láctico que pueden generar y el sabor no deseable de ácido acético que desarrollan. Por tanto se utilizan en combinación con *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus* o los microorganismos iniciadores del yogur (Ordoñez, 1998).

Estos tres microorganismos, se están utilizando con fines profilácticos o terapéuticos y, debido a ello, suelen calificarse como cepas probióticas (Ordoñez, 1998).

En la figura 2.1, se muestran todos los compuestos de sabor y aroma de las leches fermentadas y agentes que los producen.

**Figura 2.1**  
**Compuestos del sabor y aroma de las leches fermentadas y agentes que los producen**



**Fuente: Ordoñez, 1998**

### 2.6.2.- SABORIZANTES

Los saborizantes son sustancias artificiales, caracterizadas por su concentrado aroma a un determinado alimento, generalmente a frutas, que se adicionan al yogur para proporcionar un sabor y aroma más agradable (Tamine et al, 1991).

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.
- Aromas y aromatizantes naturales (origen natural).

### **2.6.3.- EDULCORANTES**

Según (Rey y Silvestre, \_\_\_\_), se añaden en este caso al yogur; con la finalidad de mejorar el sabor y en muchos casos para disimular la acidez. Siendo estas 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, aspártame, etc.

### **2.6.4.- COLORANTES**

Son aditivos para dar al consumidor las cualidades de apetitividad y atractivo, así como también mejorar la presentación; y coloración, ya que de esto dependerá el sabor y color proporcionado al yogur (Longo, 2004). Pueden ser naturales o sintéticos, en la elaboración de yogur probiótico con Omega-3 se utilizaron dos colorantes sintéticos permitidos, el rojo amaranto y amarillo tartrazina (Rey y Silvestre, \_\_\_\_).

### **2.6.5.- 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 (0,1%) 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).

## **2.7.- ORIGEN DE LA SEMILLA DE CHÍA**

Según (Ayerza y col, 2006), la chía es un antiguo cultivo de América. Originada en las zonas montañosas de México y Guatemala, se cree que forma parte de la alimentación humana desde el año 3500 a.c.

Antiguamente, las semillas de Chía (*Salvia Hispánica*) constituyeron el elemento básico de la alimentación de los indios del oeste Americano, de los mayas y los Aztecas de México. Las semillas y sus aceites también; se utilizaron como medicamentos y pinturas para el rostro y el cuerpo. Los conquistadores combatieron intensamente, estas semillas por considerarlas sacrílegas, ya que formaban parte de ceremonias destinadas a los dioses aztecas. Sus cultivos solo sobrevivieron en el sur de México y Guatemala hasta el año 1991, donde se reconocieron sus propiedades y se trabajó para su recuperación. En la actualidad las mayores plantaciones de Chía, se encuentran en el norte Argentino en las provincias de Catamarca, Salta y Tucumán; y en Bolivia en la zona de los valles del departamento de Santa Cruz (IBCE, 2009).

### **2.7.1.- BOTÁNICA DE LA SEMILLA DE CHÍA**

La chía (*Salvia hispanica L.*), es una planta de la familia de las labiatae, herbácea anual, que puede alcanzar hasta 2 m de altura. Las hojas miden de 4 a 8 cm de alto y de 3 a 5 cm de ancho. Las flores son de color violeta, florece entre julio y agosto. La planta de chía requiere un clima tropical o sub-tropical. La semilla, es rica en mucílago, fécula y aceite dentro del cual contiene Omega-3 (Fernández, 2005).

### **2.7.2.- SEMILLA DE CHÍA**

La semilla de chía, es la fuente vegetal más rica en ácidos grasos esenciales Omega-3. Este ácido graso debe ser incluido en la alimentación, porque el cuerpo no lo produce

siendo necesario para prevenir enfermedades y lograr un buen funcionamiento de todo el organismo (Fernández, 2005).

### 2.7.3.- INFORMACIÓN NUTRICIONAL DE LA SEMILLA DE CHÍA

La Chía es una semilla oleaginosa, pero es distinta a las demás oleaginosas en su contenido graso: Los 2/3 del aceite de Chía son ácidos grasos esenciales Omega-3 (Poli-Insaturados), y solo el 10% son ácidos grasos saturados. Además, su altísimo contenido en Omega-3, también tiene otros componentes muy interesantes para la nutrición humana, como ser: Antioxidantes, fibra, proteínas, vitaminas B1, B2, B3; y minerales, como fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, zinc y cobre (DELAGRO, 2010). En la tabla 2.4, se muestra la información nutricional de la semilla de chía por cada 25g y 100g

**Tabla 2.5**  
**Información nutricional de la semilla de chía**

<b>Información nutricional</b>		
<b>Chía (<i>Salvia Hispánica L.</i>)</b>	<b>100 g</b>	<b>25 g</b>
Energía (Kcal)	330	83
Proteína (g)	20,7	5,1
Grasa total (g)	32,8	8,2
Grasa saturada (g)	3,2	0,8
Grasa trans (g)	0	0
Grasa monoinsaturada (g)	2,2	0,6
Grasa poliinsaturada (g)	27,2	6,8
Ácidos grasos Omega 3 (Alfa-Linolénico) (g)	21	5,2
Ácido graso Omega-6 (linoléico) (g)	6,2	1,6
Colesterol (mg)	0	0
Hidratos de carbono disponibles (g)	1,0	0,3
Fibra(g)	41,2	10,3
Soluble (g)	5,3	1,3
Insoluble (g)	35,9	8,9
Sodio (mg)	2,1	0,5
Potasio (mg)	700	175
Calcio (mg)	714	*22%
Hierro (g)	16,4	*29%
Fósforo (mg)	1067	*33%
Magnesio (mg)	390	*33%

**Fuente: DELAGRO, 2010**

La semilla de Chía, es considerada “suplemento dietético” por la FDA (Food and Drug Administration, USA). Además, completa las exigentes regulaciones de contenido de nutrientes alimenticios establecidas por esta organización para ser un “alimento saludable” (DELAGRO, 2010).

### **2.7.3.1.- BENEFICIOS DEL ACEITE OMEGA-3**

Según (Ayerza y Coates, 2006), los beneficios del Omega-3 se detallan a continuación:

- **Beneficios de Omega-3 en niños:** Ayuda a prevenir los problemas de déficit atencional, hiperactividad y agresividad en caso de estrés.
- **Beneficios del Omega-3 para mujeres embarazadas y lactantes:** Ayuda a prevenir la hipertensión durante el embarazo y la depresión post-parto de la madre. También, es indispensable en el desarrollo visual y neurológico del feto, en el sistema inmunológico y el desarrollo psicomotor del recién nacido.
- **Beneficios del Omega-3 para adultos:** Ayuda a reducir el colesterol malo y prevenir enfermedades cardiovasculares. Previene los problemas de obesidad, diabetes, depresión y a mejorar la concentración.
- **Para adultos mayores:** Ayuda a prevenir la enfermedad de Alzheimer, mejorar la resistencia contra las enfermedades inflamatorias, fortalece las paredes internas de las arterias para prevenir la arteriosclerosis.

### **2.7.4.- BENEFICIOS DE LA SEMILLA DE CHÍA**

Según (DELAGRO, 2010), los beneficios de la semilla de chía son los siguientes:



- La semilla de chía es una fuente grande de fibra.
- Ayuda a regular los movimientos intestinales para lograr una buena digestión.
- Retarda la adsorción de carbohidratos y grasas mejorando el nivel de glicemias en la sangre.
- Previene el cáncer de colon.
- Reduce la sensación de hambre y ansiedad.
- Contiene Antioxidantes que evita la oxidación de los ácidos grasos, logrando una mejor absorción de Omega 3 durante su consumo.
- Mejoran el funcionamiento celular de todos los órganos del cuerpo.
- Retarda el envejecimiento celular provocado por contaminantes ambientales.
- Es rica en Minerales, contiene altas concentraciones de Calcio por lo tanto ayuda a fortalecer los huesos y dientes, previniendo así la osteoporosis.
- También contiene hierro, magnesio y fosforo, minerales importantes que previenen la anemia, ayudan a mejorar las funciones cerebrales y colaboran en la absorción del calcio.

### 3.1.- INTRODUCCIÓN

Toda la parte experimental del trabajo de investigación, **“Elaboración de Yogur Probiótico Enriquecido con Omega-3”**, se realizó en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA) de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad “Juan Misael Saracho”.

### 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 utilizaron durante la realización de la parte experimental.

#### 3.2.1.- EQUIPOS

Los equipos que se utilizaron en el trabajo experimental son:

**Estufa:** En la figura 3.1, se muestra el equipo utilizado para el desarrollo de la etapa de fermentación y sus especificaciones técnicas son:

- Hecho en Hungría
- Marca: Labor esztergom
- LP: 301
- B: 220
- KBT: 0.6
- Modelo: Typ
- Potencia: 600Wats
- Temperatura máxima: 300°C



**Figura 3.1**

**Balanza Analítica:** En la figura 3.2, se muestra el equipo utilizado para realizar el pesado del cultivo probiótico, insumos, etc. en cada etapa del proceso y sus especificaciones técnicas son:

- Industria: Suiza
- Marca: Toledo
- Capacidad máxima: 1510 g
- Precisión: 0,01 g
- VA: 5
- Fuente: 9,5-20 V
- Modelo: PB1502
- Capacidad mínima: 0,5 g
- Voltaje: 8-14,5 Vol.
- Frecuencia: 50/60
- E: 0,1 g

**Figura 3.2**



**Cocina:** Utilizada durante la etapa de pasteurización de la leche la cual tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- Modelo: Industrial
- Número de hornillas: dos
- Combustible: gas natural

**Heladera:** Utilizada para refrigerar el producto elaborado (yogur) y para su conservación. Sus especificaciones técnicas son:

- Marca: Consul
- Frecuencia: 50/60
- Amperios: 2,5 Amp.
- Voltaje: 220 Vol.
- Pies: 12

### **3.2.2.- INSTRUMENTOS DE LABORATORIO**

Los instrumentos utilizados en laboratorio para el proceso productivo son:

**Refractómetro:** En la figura 3.3, se muestra el instrumento que fue utilizado para medir el porcentaje de sólidos solubles de la leche de vaca, y del producto final. Sus especificaciones técnicas son:

- Industria: Japonesa
- Marca: Atago
- Escala: 0-98 °Brix
- Modelo: N1

**Figura 3.3**



**Termómetro:** En la figura 3.4, se muestra el instrumento que se utilizó para medir las diferentes temperaturas durante los procesos de fermentación y pasteurización. Sus especificaciones técnicas son:

- Termómetro de mercurio
- Marca: Nahita
- Escala: -10 a 110 °C

**Figura 3.4**



**pH-metro de bolsillo:** En la figura 3.5, se muestra el instrumento que se utilizó en la etapa de fermentación y en el producto final para medir su pH. Sus especificaciones técnicas son:

- Marca: Nahita
- Rango: 0 – 14
- Resolución: 0,1
- Temperatura de operación: 0-50°C
- Calibración: 2 puntos
- Potencia: DC4 \* 1,5 V
- Peso: 90 g

**Figura 3.5**



### 3.2.3.- MATERIALES DE LABORATORIO

En la tabla 3.1, se muestran los materiales de laboratorio que se utilizaron en el proceso de elaboración de yogur probiótico.

**Tabla 3.1**  
**Materiales necesarios para la elaboración de yogur probiótico**

Descripción	Cantidad	Capacidad	Calidad
Pipetas	2	10 ml	Vidrio
Varilla	1	-	Vidrio
Bureta	1		Vidrio
Matraz	3	250 ml	Vidrio
Soporte Universal	1		Fierro
Probeta	1	100 ml	Vidrio
Pinzas doble nuez	2	-	Hierro y plástico
Jarra graduada	1	100 ml	Plástico
Jarra graduada	1	1000 ml	Plástico
Colador	1		Plástico
Papel Aluminio	1	7 m	Aluminio
Vasos de precipitación	8	250 ml	Vidrio
Vidrio de reloj	1	pequeño	Vidrio
Espátula	1		Goma
Agitador	1	-	Acero inoxidable
Ollas	4	4 lt	Acero inoxidable
Recipientes	2	5 lt	Plástico
Cuchara	1	grande	Acero inoxidable
Cucharillas	12		Plástico
Vasitos	16	100 ml	Poliestireno

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.2.4.- MATERIA PRIMA

La materia prima que se utilizó, fue leche de vaca natural adquirida de la familia Galarza de la provincia Cercado del Departamento de Tarija.

### 3.2.5.- INSUMOS QUÍMICOS

Los insumos utilizados en el trabajo de investigación, se citan en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2**  
**Insumos utilizados en la elaboración de yogur probiótico**

<b>Insumos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Procedencia</b>
Cultivos probióticos	Liofilizados	Europa
Azúcar	Bermejo	Bolivia
Esencias (frutilla, coco, banana, durazno)	Esencial	Argentina
Colorantes (rojo, amarillo)	Maprial	Argentina

**Fuente: Elaboración propia**

### **3.2.6.- REACTIVOS DE LABORATORIO**

Los reactivos utilizados para la elaboración de yogur probiótico con Omega-3, se muestran en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3**  
**Reactivos utilizados en la elaboración de yogur probiótico**

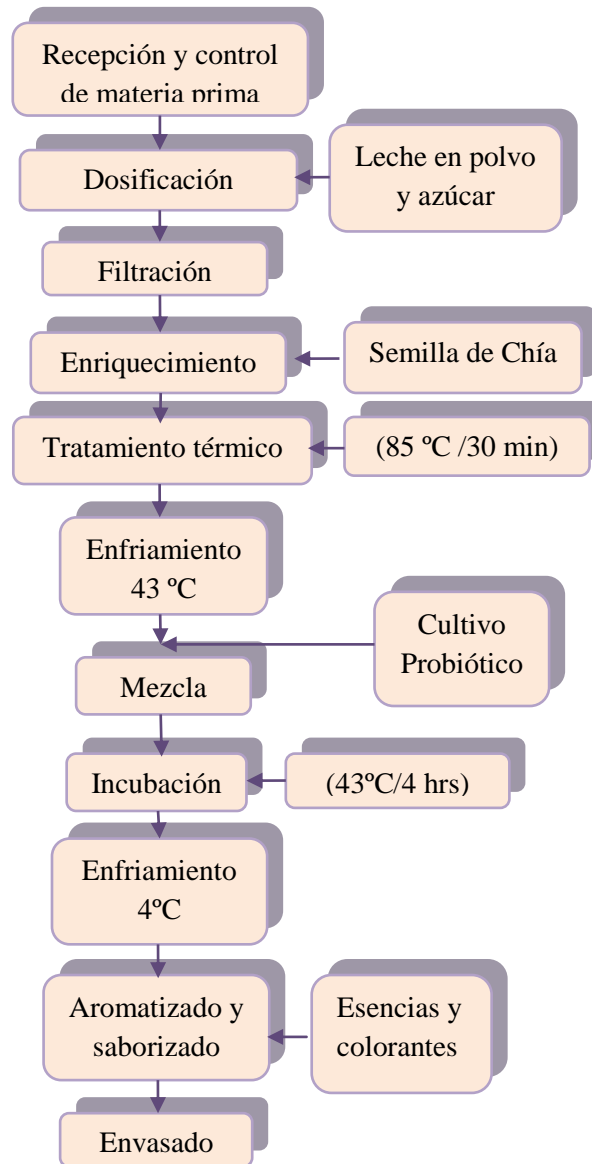
<b>Reactivos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Concentración</b>
Solución de hidróxido de Sodio	1 litro	0,1 N
Fenolftaleína	50 ml	0,1 %
Alcohol	500ml	95%

**Fuente: Elaboración propia**

### **3.3.- METODOLOGÍA DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGUR PROBIÓTICO ENRIQUECIDO CON OMEGA-3**

El diagrama de bloques que se muestra en la figura 3.6, representa el proceso de elaboración de yogur probiótico enriquecido con Omega-3. Este proceso fue adaptado, según (Ordoñez, 1998).

**Figura 3.6**  
**Diagrama del proceso de elaboración del yogur probiótico con Omega-3**



**Fuente: Elaboración propia**

### **3.3.1.- DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL PROCESO**

El proceso de elaboración del yogur probiótico enriquecido con Omega-3, consta de los siguientes pasos:

### 3.3.1.1.- RECEPCIÓN Y CONTROL DE MATERIAS PRIMAS

Es necesario analizar la leche en el momento de su recepción para asegurarse que cumpla los requisitos indispensables para el proceso, como ser:

- ❖ **Determinación de sólidos no grasos:** Esta determinación es muy importante para poder establecer el rendimiento de la leche y poder verificar si la leche está adulterada con agua. La cantidad de sólidos recomendada es igual o mayor a 9,0 °Brix.
- ❖ **Prueba de mastitis:** Mastitis se refiere a la inflamación de las glándulas mamarias de las vacas pudiendo alterar las características fisicoquímicas y bacteriológicas de la leche. Esta prueba se la realiza a través de un test de mastitis utilizando un reactivo de bromocresol de la marca “REACTIMAST.”
- ❖ **Control de acidez:** Se realiza un control de acidez a la leche, la cual no debe ser mayor a 16 °Dornic y en cuanto al pH debe ser igual a 6,6 o 6,7.

### 3.3.1.2.- DOSIFICACIÓN

Se realizó mediante la adición de leche de vaca en polvo desnatada, hasta alcanzar 13-14% de sólidos solubles; luego se agregó un 7,7% de azúcar a la mezcla, donde fue realizada a temperatura ambiente siendo agitada homogéneamente con una cuchara de acero inoxidable hasta su total disolución. La dosificación de la leche implica un incremento de la concentración de sólidos para conseguir las propiedades deseadas en el yogur, es decir potenciar la viscosidad en el yogur.

### 3.3.1.3.- FILTRACIÓN

La filtración, se recomienda realizar para eliminar las posibles partículas de sólidos lácteos añadidos en la fase anterior; que no han sido disueltas como ser grumos e



impurezas (pelos, paja, tierra) procedentes de la leche base. El proceso, consistió en hacer pasar la leche a través de filtros cónicos de nylon ajustados en el interior de las conducciones, en un recipiente de plástico de cuatro litros de capacidad.

#### **3.3.1.4.- ENRIQUECIMIENTO**

Una vez filtrada la leche, se agregó 25 g de semilla de chía (*Benexia*) por cada 500 ml de leche, donde fue llevada posteriormente a un tratamiento térmico a baño María, para eliminar los microorganismos que puedan existir en la semilla de chía y en la leche dosificada.

#### **3.3.1.5.- TRATAMIENTO TÉRMICO**

Las condiciones de pasteurización utilizadas fueron: 85°C durante 30 minutos a baño María en un recipiente de acero inoxidable. La pasteurización, se realizó con el objetivo de destruir los microorganismos patógenos y bacteriófagos que puedan existir en la leche dosificada.

#### **3.3.1.6.- ENFRIAMIENTO**

Se realizó con el fin de alcanzar una temperatura adecuada de 43°C, para que las bacterias probióticas puedan desarrollarse en el nuevo medio de cultivo. El proceso, consistió en colocar a la leche pasteurizada en un recipiente de acero inoxidable en baño María (temperatura del agua 20°C) hasta que la leche pasteurizada alcance la temperatura deseada de 43°C.

### **3.3.1.7.-ADICIÓN DEL CULTIVO PROBIÓTICO**

En la adición del cultivo, se trabajó en condiciones de asepsia, donde se esterilizó el material a ser utilizado (vaso de precipitado, cucharilla) con agua a temperatura de ebullición de 93°C y alcohol al 96%.

La cantidad de inculo, que se utilizó en la elaboración de yogur probiótico con Omega-3, fue de 0,02%. Al momento de añadir el cultivo a la leche atemperada, primero se diluyó la cantidad de inculo en 100 ml de leche atemperada a 43°C, para que los microorganismos probióticos puedan adaptarse y distribuirse homogéneamente por toda la cantidad de leche dosificada.

### **3.3.1.8.- INCUBACIÓN**

La incubación, se realizó en recipientes de plástico (poliestireno), donde fueron introducidos a una estufa eléctrica a 43°C por un lapso de 4 horas. Durante este proceso de fermentación, se controló la variación de acidez por cada media hora, mediante una titulación volumétrica con NaOH al 0,1% hasta terminar la fermentación del proceso de incubación.

Es evidente que, si la temperatura de incubación es menor; el tiempo necesario para completar la fermentación se prolonga.

### **3.3.1.9.- ENFRIAMIENTO**

Su finalidad, es 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 de 20°C y finalmente se llevaron los recipientes de plástico a un sistema de refrigeración.

### **3.3.1.10.- AROMATIZADO Y SABORIZADO**

Se realizó al producto ya refrigerado (yogurt) la adición de colorantes y esencias al recipiente contenido con el producto con el fin de mejorar las características organolépticas del producto final. Dicho proceso, consistió en agitar manualmente con el agitador (perforado) de acero inoxidable hasta mezclar completamente los aditivos y romper la estructura del gel que tiene el yogurt.

Las esencias utilizadas fueron frutilla, banana, coco y durazno; la cantidad del volumen utilizado de las esencias y colorantes varía entre (0,5-0,7) ml/litro; dependiendo la intensidad de esencia y colorante a ser adicionada. Finalmente, para que el producto tenga un mayor tiempo de conservación, se adicionó conservante de sorbato de potasio al 0,1% en sólido de grado alimenticio.

### **3.3.1.11.- ENVASADO**

Para realizar el proceso de envasado del producto terminado, consistió en utilizar envases de poliestireno (PS) con tapa hermética que fueron de tres tipos de capacidad de 25ml, 500ml y 1000ml. Previamente, esterilizados con vapor de agua a 93°C por un tiempo de 10-15 minutos; para luego ser utilizados en el envasado del yogurt probiótico y garantizar las características tanto fisicoquímicas, como organolépticas del producto durante su almacenamiento.

### **3.3.1.12.- ALMACENAMIENTO**

Una vez envasado el producto, el proceso de almacenamiento consistió en colocar los envases (PS) con el producto terminado bajo refrigeración a una temperatura de 5°C; por un tiempo de 15 días para realizar un seguimiento de los aspectos de control, como ser:

- ✚ Determinar la acidez del yogur probiótico con semilla de chía sin conservante, y transcurridos los 15 días realizar un análisis sensorial de los atributos aroma, sabor, acidez y controlar el tiempo de maduración el producto sin conservante.
- ✚ Realizar una comparación de acidez en pH del yogur probiótico con semillas de chía y conservante, con el yogur del Taller de Alimentos, después de 15 días de almacenamiento bajo las mismas condiciones de fermentación.

El control de la acidez del yogur probiótico con semillas de chía, se realizó con la ayuda de un pH-metro de bolsillo, donde se midió el pH inicial y luego cada día hasta llegar los 15 días de almacenamiento. Sin embargo, se realizó una comparación con yogur elaborado tradicionalmente con las cepas iniciadoras, como ser (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*) donde se hizo una comparación de forma experimental en cuanto al pH.

Finalmente, se realizaron pruebas a nivel laboratorio del yogur probiótico sin conservante y sin semillas de chía, con el fin de identificar su influencia en la acidez y conservación del producto elaborado.

### **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 entera dosificada y pasteurizada con semilla de chía), como al producto final yogur probiótico con semillas de chía (Anexo B). En la tabla 3.4, se muestran los parámetros evaluados.

**Tabla 3.4**  
**Análisis fisicoquímico de la materia prima y producto terminado**

Semillas de chía	Leche pasteurizada y dosificada	Yogur probiótico con semillas de chía
Fibra	Fibra	Fibra
Materia grasa	Materia grasa	Materia grasa
Humedad	Humedad	Humedad
	Acidez	Acidez
	Sólidos no grasos	Cenizas
		Hidratos de carbono
		Proteína total
		Valor energético

**Fuente: Elaboración propia**

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

En la tabla 3.5, se muestran las normas y métodos utilizados para determinar las propiedades fisicoquímicas de la materia prima y del yogur probiótico.

**Tabla 3.5**  
**Normas y métodos para determinar propiedades fisicoquímicas**

Detalle	Norma	Método
Humedad	NB 028-88	Gravimétrico
Proteína total	NB 466-81	Volumétrico
Fibra	Manual CEANID	Gravimétrico
Hidratos de Carbono	Cálculo	Cálculo
Materia grasa	NB 103-75	Gravimétrico
Cenizas	NB 075-74	Gravimétrico
Acidez % ácido láctico	NB 229-98	Volumétrico
Sólidos no grasos	Cálculo	Cálculo
Valor energético	Cálculo	Cálculo

**Fuente: CEANID, 2010**

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

En la tabla 3.6, se muestran las normas y métodos utilizados para determinar las propiedades microbiológicas de la materia prima y del yogur probiótico.

**Tabla 3.6**  
**Normas y métodos para determinar el análisis microbiológico**

<b>Detalles</b>	<b>Norma</b>	<b>Método</b>
Coliformes totales	NB 657-95	Tubos múltiples
Coliformes fecales	NB 657-95	Tubos múltiples
Mohos y levaduras	NB 658-95	Recuento de placa fluida

**Fuente: CEANID, 2010**

### **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 utilizar una máquina, 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).

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

#### **1- Análisis descriptivo**

Consiste en la descripción de las propiedades sensoriales (parte cualitativa) y su medición (parte cuantitativa). "Es el más completo". Para la primera etapa tratamos de ver qué nos recuerda y cómo se describe cada olor.

## **2- Análisis discriminativo**

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

### **3.4.3.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN INICIAL**

Se realizó una evaluación sensorial inicial, a través de un test de escala hedónica (Anexo C) de cuatro muestras dosificadas donde fueron evaluadas por diez jueces no entrenados en los atributos de sabor y grado de dulzor de la leche (Anexo D), para determinar la cantidad de azúcar y leche en polvo a ser adicionada en el proceso de dosificación.

### **3.4.3.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN FINAL**

Una vez realizada la evaluación sensorial de la dosificación inicial, se procedió a utilizar el mismo test de escala hedónica (Anexo C) de las primeras cuatro muestras, con la finalidad de realizar un mejor contraste de las dos muestras más aceptadas por los jueces. Para este caso, se utilizaron los mismos jueces no entrenados y valorando los mismos atributos sensoriales (Anexo D) y estableciendo la mejor dosificación en la etapa final.

### **3.4.3.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN INICIAL**

Una vez seleccionada la mejor muestra en la dosificación final, se realizó una evaluación sensorial en el proceso de fermentación inicial, utilizando un test de escala hedónica (Anexo C) de ocho muestras de yogur probiótico a diez jueces no entrenados para analizar los atributos de aroma, sabor, acidez y textura (Anexo D).

#### **3.4.3.4.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN INTERMEDIO**

Consistió en realizar una nueva evaluación sensorial en base a las cuatro muestras más aceptadas del total de las ocho muestras analizadas en el proceso inicial, utilizando el mismo test (Anexo C) y los mismos jueces no entrenados e identificando los atributos sensoriales de aroma, sabor, acidez y textura (Anexo D).

#### **3.4.3.5.- EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DETERMINAR EL PROCESO DE FERMENTACIÓN FINAL**

Realizada la elección de las cuatro muestras anteriores, se procedió nuevamente a realizar la misma evaluación sensorial de las dos muestras de mayor aceptación de los atributos de aroma, sabor, acidez y textura (Anexo D). Con la finalidad de identificar la mejor muestra(s) que los jueces puedan juzgar de acuerdo a su apreciación como la mejor opción para el proceso de fermentación.

#### **3.4.3.6.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO SABOR PARA SELECCIONAR EL SABORIZANTE DEL YOGUR PROBIÓTICO**

Se procedió a realizar la saborización de la muestra elegida de la fermentación final, utilizando cuatro sabores (frutilla, durazno, coco, durazno y banana). Mediante un test (Anexo C) de escala hedónica compuesta por diez jueces no entrenados para el atributo sabor (Anexo D).

#### **3.4.3.7.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO FINAL**

Una vez elegido el producto final saborizado, se realizó un análisis sensorial de la muestra elegida, mediante un test de evaluación sensorial (Anexo C), según su agrado o desagrado a diez jueces no entrenados (Anexo D) de los atributos de sabor, aroma, textura y acidez.



### **3.4.4.- DEGUSTACIÓN Y ENCUESTA DEL PRODUCTO FINAL**

La degustación y encuesta (Anexo C) del producto final sabor frutilla, se realizó a diez jueces no entrenados y elegidos al azar con el objetivo de poder determinar la aceptación que tienen del producto final (Anexo D).

### **3.4.5.- DISEÑO EXPERIMENTAL**

El diseño experimental aplicado al trabajo, permite el estudio de las variables más importantes y significativas. 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 de dos niveles más utilizados según Montgomery, 1991, son:

$$2^k \quad \text{(Ecuación: 3.1)}$$

Donde: k = Número de variables

2 = Número de Niveles

#### **3.4.5.1.- DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE DOSIFICACIÓN**

Para determinar la cantidad de azúcar y de leche en polvo a adicionar en la etapa de dosificación, se realizó el siguiente diseño factorial:

$$2^k = 2^2 = 4 \text{ tratamientos} \quad \text{(Ecuación: 3.2)}$$

Considerando la etapa de dosificación, se tomaron en cuenta dos factores (cantidad de azúcar y leche en polvo), considerando la cantidad de leche fluida como una variable constante a temperatura ambiente, dos niveles de variación en cada factor y la cantidad de semilla de chía recomendada igual a 25 g por día.

- Cantidad de leche en polvo (LP) = 2 niveles
- Cantidad de azúcar (A) = 2 niveles

En la tabla 3.7, se muestran los niveles de variación de los factores en el proceso de dosificación.

**Tabla 3.7**  
**Variación de los factores en el proceso de dosificación**

Factores	Nivel Inferior	Nivel Superior
Cantidad de leche en polvo	9 g/l	11 g/l
Cantidad de Azúcar	77 g/l	97 g/l

**Fuente: Elaboración propia**

Las combinaciones realizadas entre los factores y los diferentes niveles analizados en el proceso de dosificación, se detallan en la tabla 3.8.

**Tabla 3.8**  
**Diseño factorial en la etapa de dosificación**

Pruebas	Tratamientos	Factores		Interacción de efectos	Respuesta
		A	LP	A*LP	$Y_i$
1	(1)	-	-	+	$Y_1$
2	a	+	-	-	$Y_2$
3	b	-	+	-	$Y_3$
4	ab	+	+	+	$Y_4$

**Fuente: Elaboración Propia**

Donde:  $Y_i$  = Concentración de Sólidos Solubles (SS) °Brix

### 3.4.5.2.- DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN

Considerando la etapa de fermentación, se tomaron en cuenta tres factores (Temperatura, tiempo de fermentación y porcentaje de cultivo lácteo); y dos niveles de variación en cada factor:

- T (Temperatura) = 2 niveles
- T (Tiempo de fermentación) = 2 niveles
- CL (porcentaje de cultivo lácteo) = 2 niveles

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

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos} \quad (\text{Ecuación: 3.3})$$

Los niveles de variación de los factores del proceso de fermentación, se detallan en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9**  
**Diseño factorial en la etapa de fermentación**

Factores	Nivel Inferior	Nivel Superior
T	40 °C	43°C
t	4,0 horas	4,5 horas
CCL	0,003 %	0,02 %

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 3.10, se muestra el diseño experimental a ser utilizado para el proceso de fermentación del yogur probiótico enriquecido con Omega-3.

**Tabla 3.10**  
**Diseño experimental para el proceso de elaboración de yogur probiótico enriquecido con Omega-3**

Corridas	Combinación de tratamientos	Factores			Interacción				Respuestas
		CL	T	t	CLt	CLT	tT	CLtT	$Y_i$
1	(1)	-	-	-	+	+	+	-	$Y_1$
2	a	+	-	-	-	-	+	+	$Y_2$
3	b	-	+	-	-	+	-	+	$Y_3$
4	ab	+	+	-	+	-	-	-	$Y_4$
5	c	-	-	+	+	-	-	+	$Y_5$
6	ac	+	-	+	-	+	-	-	$Y_6$
7	bc	-	+	+	-	-	+	-	$Y_7$
8	abc	+	+	+	+	+	+	+	$Y_8$

**Fuente: Elaboración propia**

Donde:  $Y_i$  = Porcentaje de acidez (°Dornic)

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

Los análisis se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID. En la tabla 4.1, se detallan los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico de la leche pasteurizada (dosificada) y semilla de chía.

**Tabla 4.1**  
**Composición fisicoquímica y microbiológica de la leche pasteurizada y semilla de chía**

Parámetros	Unidad de medida	Leche pasteurizada	Semilla de chía
Acidez	%	0,11	-
Calcio total	Mg/100gr	7,55	-
Cenizas	%	0,74	-
Densidad relativa	-	1,06	-
Fibra	%	1,67	15,57
Hierro total	Mg/100gr	1,34	-
Hidratos de Carbono	%	13,50	-
Lactosa	%	12,61	-
Materia grasa	%	2,40	23,36
Humedad	%	78,33	6,10
Proteína	%	2,94	-
Sólidos no grasos	%	19,10	-
Coliformes totales	NMP/ml	0,00	0,00
Coliformes fecales	NMP/ml	0,00	0,00
Mohos y levaduras	ufc/g	0,00	2,2x10 <sup>1</sup>
Salmonella	p/a/25ml	Ausencia	-

**Fuente: CEANID, 2010**

Como se puede observar en la tabla 4.1, los resultados obtenidos de las propiedades fisicoquímicas de la leche dosificada pasteurizada, tiene una acidez (ácido láctico) de 0,10%, fibra 1,67%, hidratos de carbono 13,50%, lactosa 12,61%, materia grasa 2,40%, proteína 2,94%, sólidos no grasos 19,10%. En el caso del análisis microbiológico, tiene de coliformes totales y fecales 0,00 NMP/ml, mohos y levaduras 0,00 ufc/g y ausencia total de salmonella.

En la tabla 4.1, se muestra las propiedades fisicoquímicas de la semilla de chía que contiene 15,57% de fibra, materia grasa 23,36% y humedad 6,10%. Referente al análisis microbiológico, coliformes totales y fecales 0,00 NMP/ml, mohos y levaduras  $2,2 \times 10^1$  ufc/g.

#### **4.2.- DETERMINACIÓN INICIAL DEL GRADO DE DULZOR Y SABOR DE LA LECHE**

Primeramente, se realizó una evaluación sensorial de leche dosificada (azúcar, leche en polvo y semilla de chía), a diez jueces no entrenados para determinar la cantidad de azúcar y leche en polvo a ser adicionada en el proceso de dosificación.

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación sensorial para determinar el grado de dulzor y sabor durante el proceso de dosificación de las cuatro primeras muestras elaboradas a nivel experimental extraídas (Anexo D).

**Tabla 4.2**

**Valores promedio de la evaluación sensorial para determinar el grado de dulzor y sabor de la leche**

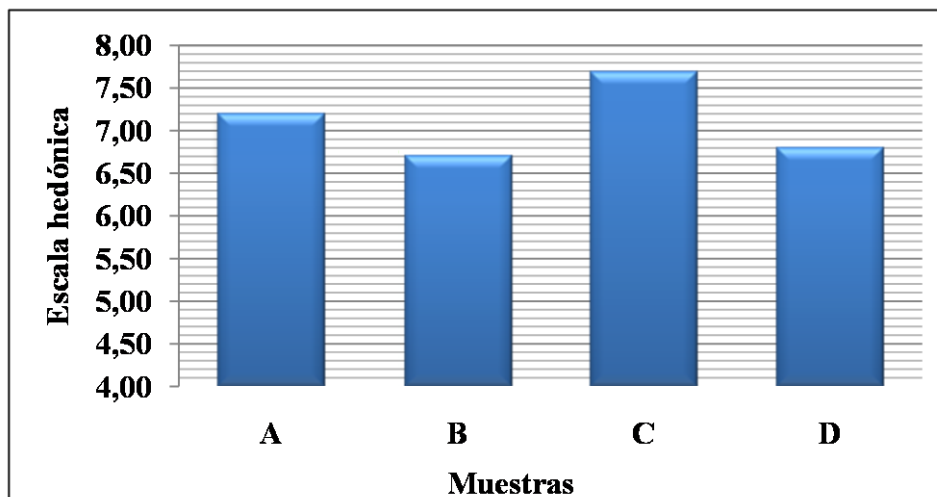
Muestras	Atributos	
	Grado dulzor	Sabor
<b>A</b>	7,20	7,40
<b>B</b>	6,70	7,20
<b>C</b>	7,70	7,90
<b>D</b>	6,80	7,30

**Fuente: Elaboración propia**

#### **4.2.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL INICIAL EN EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN PARA DETERMINAR EL GRADO DE DULZOR DE LA LECHE**

En la figura 4.1, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial para elegir el grado de dulzor inicial en el proceso de dosificación.

**Figura 4.1**  
**Valores del atributo grado de dulzor inicial en el proceso de dosificación**



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.1, se observa que las muestras que tienen un mayor puntaje son: la muestra C (7,70) y la muestra A (7,20) en la escala hedónica; en comparación a las muestras B (6,70) y D (6,80), que son menores.

En la tabla 4.3, se muestra el análisis de varianza del atributo grado de dulzor inicial en el proceso de dosificación, en base a los resultados (Anexo D).

**Tabla 4.3**  
**Análisis de varianza del atributo grado de dulzor inicial en el proceso de dosificación**

Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Entre muestras	6,20	3	2,06	2,20	2,96
Entre Jueces	28,10	9	3,12	3,33	2,96
Error	25,30	27	0,94		
Total	59,60	39			

**Fuente: Elaboración propia**

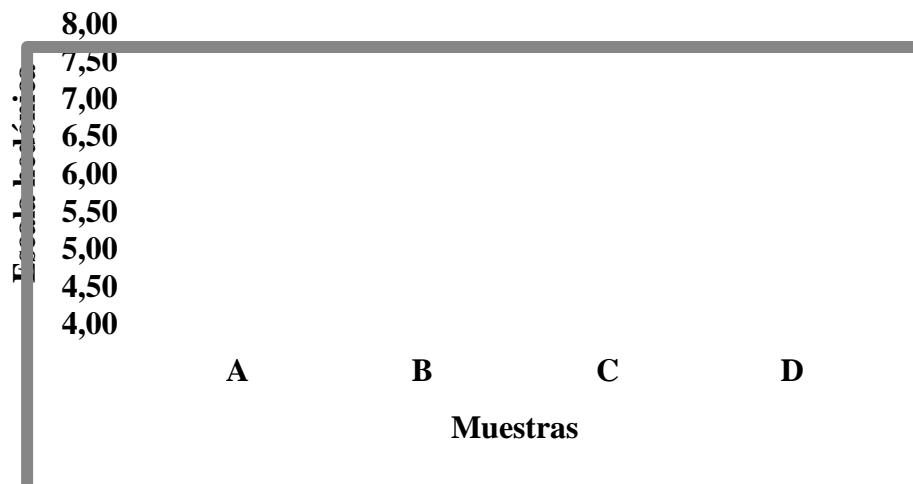
Como se puede observar en la tabla 4.3,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,20 < 2,96$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras

puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra C, como la mejor opción inicial para realizar la dosificación.

#### 4.2.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL INICIAL EN EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO SABOR DE LA LECHE

En la figura 4.2, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial inicial para elegir el atributo sabor en el proceso de dosificación.

**Figura 4.2**  
**Valores promedio del atributo sabor inicial en el proceso de dosificación**



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.2, se observa que las muestras de mayor aceptación para los jueces son: la muestra A = 7,40 y la muestra C = 7,90 en la escala hedónica; en comparación a la muestra B = 7,20 y la muestra D = 7,30, que son menores.

En la tabla 4.4, se muestra el análisis de varianza del atributo sabor inicial en el proceso de dosificación, en base a los resultados (Anexo D).

**Tabla 4.4**  
**Análisis de varianza del atributo sabor inicial en el proceso de dosificación**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
Entre muestras	2,67	3	0,89	0,92	2,96
Entre Jueces	42,22	9	4,58	4,77	2,96
Error	26,07	27	0,96		
Total	69,97	39			

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la tabla 4.4,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,92 < 2,96$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras, por lo tanto se rechaza la hipótesis planteada para un  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra C, como la mejor opción inicial para realizar la dosificación.

De acuerdo a los valores promedio obtenidos de la evaluación sensorial inicial del proceso de dosificación, se eligieron dos muestras de mayor aceptación por los jueces para realizar otra evaluación sensorial; con el fin de contrastar los valores obtenidos y determinar la dosificación final del grado de dulzor y sabor de la leche.

#### **4.2.3.- DETERMINACIÓN FINAL DEL GRADO DE DULZOR Y SABOR DE LA LECHE**

En la tabla 4.5, se muestran los valores promedio obtenidos en la evaluación sensorial final para el grado de dulzor y sabor durante el proceso de dosificación.

**Tabla 4.5**  
**Valores de evaluación sensorial final en el proceso de dosificación**

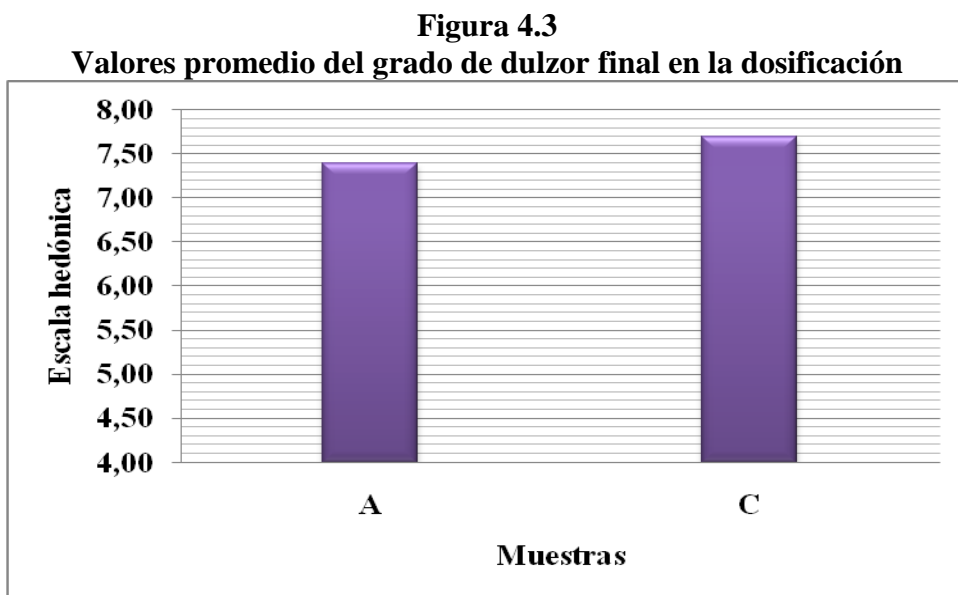
<b>Muestras</b>	<b>Grado de dulzor</b>	<b>Sabor</b>
A	7,40	7,50
C	7,70	8,00

**Fuente: Elaboración propia**



#### 4.2.3.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL EN EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN PARA DETERMINAR EL GRADO DE DULZOR DE LA LECHE

En la figura 4.3, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial final para determinar el grado de dulzor en el proceso de dosificación.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.3, se observa que la muestra de mayor aceptación para los jueces es la muestra C = 7,70 en la escala hedónica; en comparación a la muestra A = 7,40, que es menor.

En la tabla 4.6, se muestra el análisis de varianza del atributo grado de dulzor final en el proceso de dosificación, en base a los resultados (Anexo D).

**Tabla 4.6**  
**Análisis de varianza para el grado de dulzor final en la dosificación**

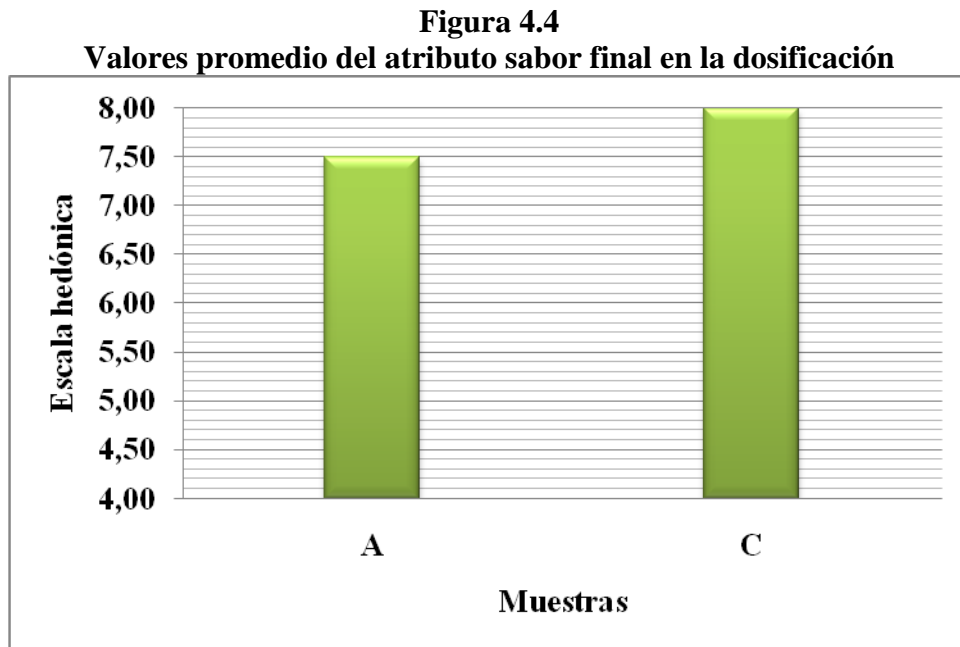
Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Entre muestras	0,45	1	0,45	0,67	5,12
Entre Jueces	14,45	9	1,60	2,38	5,12
Error	6,05	9	0,67		
Total	20,95	19			

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.6,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,67 < 5,12$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra C, como la mejor opción final para realizar la dosificación.

#### 4.2.3.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL EN EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO SABOR DE LA LECHE

En la figura 4.4, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial final del atributo sabor en el proceso de dosificación.



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.4, se observa que la muestra de mayor aceptación para los jueces es la muestra C = 8,00; en comparación a la muestra A = 7,50, que es menor.

En la tabla 4.7, se muestra el análisis de varianza del atributo sabor final en el proceso de dosificación, en base a los resultados (Anexo D).

**Tabla 4.7**  
**Análisis de varianza del atributo sabor final en la dosificación**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
Entre muestras	1,25	1	1,25	1,55	5,12
Entre Jueces	5,25	9	0,58	0,72	5,12
Error	7,25	9	0,80		
Total	1,75	19			

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la tabla 4.7,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,55 < 5,12$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra C, como la mejor opción final para realizar la dosificación.

De acuerdo a la evaluación sensorial en el proceso de dosificación final, se pudo constatar que la muestra de mayor aceptación por los jueces; tanto para el atributo sabor como para el atributo grado de dulzor, es la muestra C que contiene 7,7% de azúcar y 1,1% de leche en polvo, en comparación a la muestra A que contiene 7,7% de azúcar y 0,9% de leche en polvo.

#### **4.3.- DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL PROCESO DE DOSIFICACIÓN**

Para determinar el grado de dulzor de la leche en el proceso de dosificación, se realizó tomando en cuenta el diseño factorial (tabla 3.8) con los niveles de variación (tabla 3.7); en donde, la variable medida fue los sólidos solubles y los resultados se muestran en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8**  
**Sólidos solubles del grado de dulzor en el proceso de dosificación**

Corridas	Variables		Replica 1	Replica 2	Total (Yi)
	Azúcar (A)	Leche en polvo (B)			
(1)	77	9	22,50	21,80	44,30
a	97	9	22,50	23,50	46,00
b	77	11	21,50	21,00	42,50
ab	97	11	23,00	22,00	45,00
<b>Total (Yj)</b>			89,50	88,30	<b>177,80</b>

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados de la tabla 4.8, se procedió a realizar el análisis de varianza de los valores de sólidos solubles (tabla 4.9) para un diseño experimental de  $2^2$ ; extraídos (Anexo E).

**Tabla 4.9**  
**Análisis de varianza para las variables del proceso de dosificación**

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	Fcal	Ftab
Total	4,64	abr -1 = 7			
Factor A	2,21	(a-1) = 1	2,21	6,31	7,71
Factor B	0,98	(b-1) = 1	0,98	2,80	7,71
Interacción AB	0,08	(a-1)(b-1) = 1	0,08	0,23	7,71
Error experimental	1,38	ab(r-1) = 4	0,35		

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.9,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $6,31 < 7,71$ ) para el factor A (cantidad de azúcar); lo cual se acepta la  $H_p$  y no existe evidencia estadística de variación de este factor en el proceso de dosificación para una ( $p < 0,05$ ).

Como se puede observar en la tabla 4.9,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,80 < 7,71$ ) para el factor B (cantidad de leche en polvo); lo cual se acepta la  $H_p$  y no existe evidencia estadística de variación de este factor en el proceso de dosificación para una ( $p < 0,05$ ).

En los factores AB (azúcar–leche en polvo),  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,23 < 7,71$ ) para la interacción de los factores (azúcar-leche en polvo); lo cual se acepta la  $H_p$  y no existe

evidencia estadística de variación entre los factores temperatura-tiempo en el proceso de dosificación; para una ( $p < 0,05$ ).

En tal sentido, se puede decir que los factores de cantidad de azúcar y leche en polvo, no tienen significancia estadística en el proceso de dosificación para determinar el grado de dulzor en la leche dosificada.

#### **4.4.- DETERMINACIÓN INICIAL DE LOS ATRIBUTOS SENSORIALES DEL YOGUR EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN**

Se realizó una evaluación sensorial de los atributos sabor, aroma, acidez y textura del yogur natural con semilla de chía, utilizando a diez jueces no entrenados para determinar la concentración de cultivo probiótico (CCL), tiempo (t) y temperatura (T) del proceso de fermentación.

En la tabla 4.10, se muestran los resultados promedios obtenidos de las evaluaciones sensoriales iniciales; extraídas (Anexo D) para los atributos de aroma, sabor, acidez y textura durante el proceso de fermentación.

**Tabla 4.10**  
**Valores promedio de evaluación sensorial inicial en el proceso de fermentación**

<b>Muestras</b>	<b>Aroma</b>	<b>Sabor</b>	<b>Acidez</b>	<b>Textura</b>
<b>A</b>	7,70	7,00	7,20	6,60
<b>B</b>	8,20	8,00	7,90	6,50
<b>C</b>	7,40	7,40	7,00	6,20
<b>D</b>	7,00	8,00	7,90	6,60
<b>E</b>	7,10	6,70	6,30	6,10
<b>F</b>	8,00	8,20	7,40	7,90
<b>G</b>	6,90	7,00	6,40	6,30
<b>H</b>	7,30	8,50	7,70	7,80

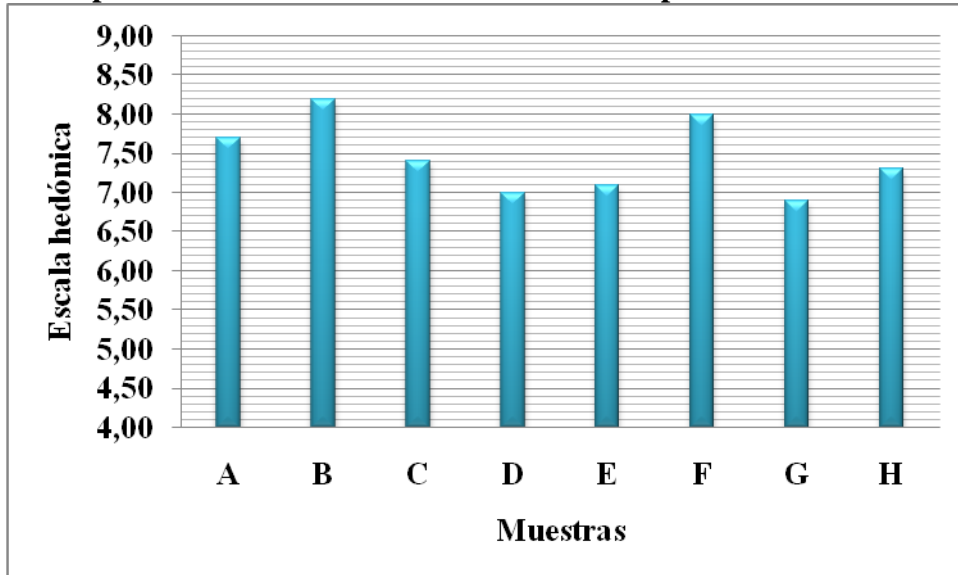
**Fuente: Elaboración propia**

En base a los resultados obtenidos de la tabla 4.10, se procedió a interpretar en forma analítica los diferentes atributos sensoriales analizados.

#### 4.4.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL INICIAL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO AROMA

En la figura 4.5, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial inicial del atributo aroma en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.10.

**Figura 4.5**  
**Valores promedio del atributo aroma inicial en el proceso de fermentación**



Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.5, se puede observar que las cuatro muestras de mayor aceptación por los jueces son las muestras: A = 7,70; B = 8,20; C = 7,40; F = 8,00 en escala hedónica; en comparación a las muestras: D = 7,00; E = 7,10; G = 6,90 y H = 7,30, que son menores.

#### 4.4.1.1.- PRUEBA DE DUNCAN INICIAL PARA EL ATRIBUTO AROMA EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

En la tabla 4.11, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de datos extraídos (Anexo D) para el atributo aroma.

**Tabla 4.11**  
**Prueba de Duncan para el atributo aroma inicial en el proceso de fermentación**

Tratamientos	Análisis de los valores	Efectos
B-F	$8,2 - 8,0 = 0,2 < 0,90$	No hay diferencia significativa
B-A	$8,2 - 7,7 = 0,5 < 0,95$	No hay diferencia significativa
B-C	$8,2 - 7,4 = 0,8 < 0,98$	No hay diferencia significativa
B-H	$8,2 - 7,3 = 0,9 < 1,00$	No hay diferencia significativa
<b>B-E</b>	<b><math>8,2 - 7,1 = 1,1 &gt; 1,02</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>B-D</b>	<b><math>8,2 - 7,0 = 1,2 &gt; 1,03</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>B-G</b>	<b><math>8,2 - 6,9 = 1,3 &gt; 1,04</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
F-A	$8,0 - 7,7 = 0,3 < 0,90$	No hay diferencia significativa
F-C	$8,0 - 7,4 = 0,6 < 0,95$	No hay diferencia significativa
F-H	$8,0 - 7,3 = 0,7 < 0,98$	No hay diferencia significativa
F-E	$8,0 - 7,1 = 0,9 < 1,00$	No hay diferencia significativa
F-D	$8,0 - 7,0 = 1,0 < 1,02$	No hay diferencia significativa
<b>F-G</b>	<b><math>8,0 - 6,9 = 1,1 &gt; 1,03</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
A-C	$7,7 - 7,4 = 0,3 < 0,90$	No hay diferencia significativa
A-H	$7,7 - 7,3 = 0,4 < 0,95$	No hay diferencia significativa
A-E	$7,7 - 7,1 = 0,6 < 0,98$	No hay diferencia significativa
<b>A-D</b>	<b><math>7,7 - 7,0 = 1,7 &gt; 1,00</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
A-G	$7,7 - 6,9 = 0,8 < 1,02$	No hay diferencia significativa
C-H	$7,4 - 7,3 = 0,1 < 0,90$	No hay diferencia significativa
C-E	$7,4 - 7,1 = 0,3 < 0,95$	No hay diferencia significativa
<b>C-D</b>	<b><math>7,4 - 7,0 = 1,4 &gt; 0,98</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
C-G	$7,4 - 6,9 = 0,5 < 1,00$	No hay diferencia significativa
H-E	$7,3 - 7,1 = 0,2 < 0,90$	No hay diferencia significativa
H-D	$7,3 - 7,0 = 0,3 < 0,95$	No hay diferencia significativa
H-G	$7,3 - 6,9 = 0,4 < 0,98$	No hay diferencia significativa
E-D	$7,1 - 7,0 = 0,1 < 0,90$	No hay diferencia significativa
E-G	$7,1 - 6,9 = 0,2 < 0,95$	No hay diferencia significativa
D-G	$7,0 - 6,9 = 0,1 < 0,90$	No hay diferencia significativa

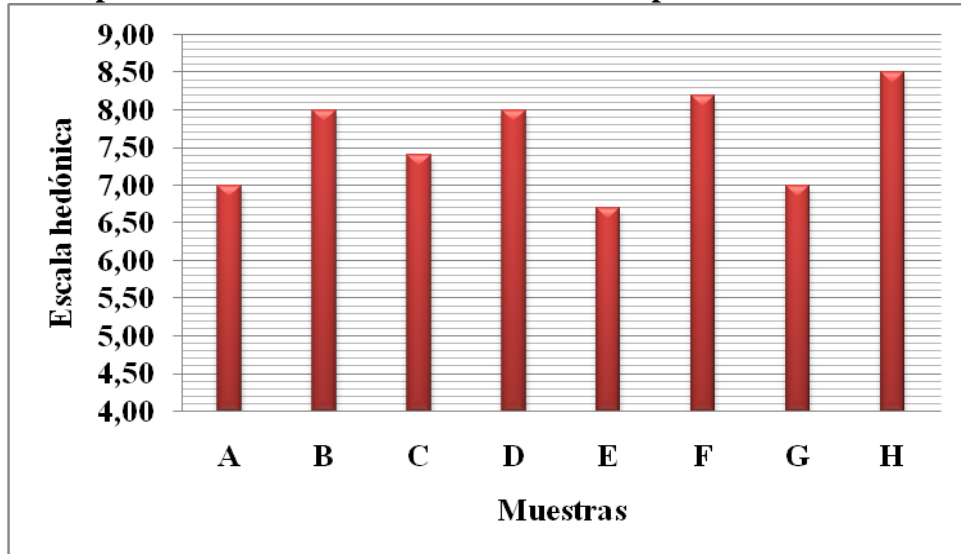
**Fuente:** Elaboración propia

En la tabla 4.11, se observa que si existe evidencia estadística entre los tratamientos (B-E, B-D, B-G, F-G, A-D, C-D) que son significativos en comparación a las muestras (B-F, B-A, B-C, B-H, F-A, F-C, F-H, F-E, F-D, A-C, A-H, A-E, A-G, C-H, C-E, C-D, C-G, H-E, H-D, H-G, E-D, E-G) que no son significativos para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por la muestra B con mayor puntaje en la escala hedónica, se tomó como la mejor opción en cuanto se refiere al atributo aroma inicial en el proceso de fermentación.

#### 4.4.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL INICIAL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO SABOR

En la figura 4.6, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial inicial del atributo sabor en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.10.

**Figura 4.6**  
**Valores promedio del atributo sabor inicial en el proceso de fermentación**



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.6, se observa que las muestras de mayor aceptación para los jueces son las muestras: B = 8,00, D = 8,00, F = 8,20 y la muestra H = 8,50 en escala hedónica; en comparación a las muestras: A = 7,00; C = 7,40; E = 6,70 y G = 7,00, que son menores.

#### 4.4.2.1.- PRUEBA DE DUNCAN INICIAL PARA EL ATRIBUTO SABOR EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de los datos extraídos (Anexo D), para el atributo sabor.



**Tabla 4.12**  
**Prueba de Duncan para el atributo sabor inicial en el proceso de fermentación**

Tratamientos	Análisis de los valores	Efectos
H-F	$8,5 - 8,2 = 0,3 < 1,01$	No hay diferencia significativa
H-B	$8,5 - 8,0 = 0,5 < 1,07$	No hay diferencia significativa
H-D	$8,5 - 8,0 = 0,5 < 1,10$	No hay diferencia significativa
H-C	$8,5 - 7,4 = 1,1 < 1,12$	No hay diferencia significativa
<b>H-A</b>	<b><math>8,5 - 7,0 = 1,5 &gt; 1,15</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-G</b>	<b><math>8,5 - 7,0 = 1,5 &gt; 1,16</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-E</b>	<b><math>8,5 - 6,7 = 1,8 &gt; 1,18</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
F-B	$8,2 - 8,0 = 0,2 < 1,01$	No hay diferencia significativa
F-D	$8,2 - 8,0 = 0,2 < 1,07$	No hay diferencia significativa
F-C	$8,2 - 7,4 = 0,8 < 1,10$	No hay diferencia significativa
<b>F-A</b>	<b><math>8,2 - 7,0 = 1,2 &gt; 1,12</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>F-G</b>	<b><math>8,2 - 7,0 = 1,2 &gt; 1,15</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>F-E</b>	<b><math>8,2 - 6,7 = 1,5 &gt; 1,16</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
B-D	$8,0 - 8,0 = 0,0 < 1,01$	No hay diferencia significativa
B-C	$8,0 - 7,4 = 0,6 < 1,07$	No hay diferencia significativa
B-A	$8,0 - 7,0 = 1,0 < 1,10$	No hay diferencia significativa
B-G	$8,0 - 7,0 = 1,0 < 1,12$	No hay diferencia significativa
<b>B-E</b>	<b><math>8,0 - 6,7 = 1,3 &gt; 1,15</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
D-C	$8,0 - 7,4 = 0,6 < 1,01$	No hay diferencia significativa
D-A	$8,0 - 7,0 = 1,0 < 1,07$	No hay diferencia significativa
D-G	$8,0 - 7,0 = 1,0 < 1,10$	No hay diferencia significativa
<b>D-E</b>	<b><math>8,0 - 6,7 = 1,3 &gt; 1,12</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
C-A	$7,4 - 7,0 = 0,4 < 1,01$	No hay diferencia significativa
C-G	$7,4 - 7,0 = 0,4 < 1,07$	No hay diferencia significativa
C-E	$7,4 - 6,7 = 0,7 < 1,10$	No hay diferencia significativa
A-G	$7,0 - 7,0 = 0,0 < 1,01$	No hay diferencia significativa
A-E	$7,0 - 6,7 = 0,3 < 1,07$	No hay diferencia significativa
G-E	$7,0 - 6,7 = 0,3 < 1,01$	No hay diferencia significativa

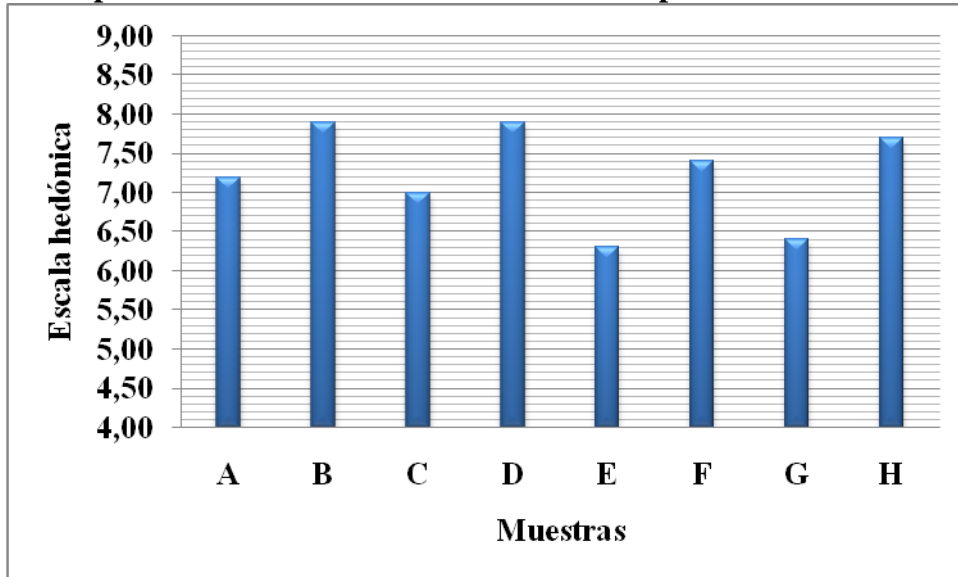
**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 4.12, se observa que si existe evidencia estadística entre los tratamientos (H-A, H-G, H-E, F-A, F-G, F-E, B-E, D-E) que son significativos en comparación a las muestras (H-F, H-B, H-D, H-C, F-B, F-D, F-C, B-D, B-C, B-A, B-G, D-C, D-A, D-G, C-A, C-G, C-E, A-G, A-E, G-E), que no son significativos para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por la muestra H con mayor puntaje en la escala hedónica, se la tomó como la mejor en cuanto se refiere al atributo sabor inicial para el proceso de fermentación.

#### 4.4.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL INICIAL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO ACIDEZ

En la figura 4.7, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial inicial del atributo acidez en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.10.

**Figura 4.7**  
**Valores promedio del atributo acidez inicial en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.7, se observa que las muestras de mayor aceptación para los jueces son las muestras: B = 7,90; D = 7,90; F = 7,40 y muestra H = 7,70 en escala hedónica; en comparación a las muestras: A = 7,20; C = 7,00; E = 6,30 y G = 6,40, que son menores.

#### 4.4.3.1.- PRUEBA DE DUNCAN INICIAL PARA EL ATRIBUTO ACIDEZ EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

En la tabla 4.13, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de los datos extraídos (Anexo D), para el atributo acidez.

**Tabla 4.13**  
**Prueba de Duncan para el atributo acidez inicial en el proceso de fermentación**

Tratamientos	Análisis de los valores	Efectos
B-D	$7,9 - 7,9 = 0,0 < 0,93$	No hay diferencia significativa
B-H	$7,9 - 7,7 = 0,2 < 0,98$	No hay diferencia significativa
B-F	$7,9 - 7,4 = 0,5 < 1,01$	No hay diferencia significativa
B-A	$7,9 - 7,2 = 0,7 < 1,03$	No hay diferencia significativa
B-C	$7,9 - 7,0 = 0,9 < 1,05$	No hay diferencia significativa
<b>B-G</b>	<b><math>7,9 - 6,4 = 1,5 &gt; 1,06</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>B-E</b>	<b><math>7,9 - 6,3 = 1,6 &gt; 1,07</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
D-H	$7,9 - 7,7 = 0,2 < 0,93$	No hay diferencia significativa
D-F	$7,9 - 7,4 = 0,5 < 0,98$	No hay diferencia significativa
D-A	$7,9 - 7,2 = 0,7 < 1,01$	No hay diferencia significativa
D-C	$7,9 - 7,0 = 0,9 < 1,03$	No hay diferencia significativa
<b>D-G</b>	<b><math>7,9 - 6,4 = 1,5 &gt; 1,05</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>D-E</b>	<b><math>7,9 - 6,3 = 1,6 &gt; 1,06</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
H-F	$7,7 - 7,4 = 0,3 < 0,93$	No hay diferencia significativa
H-A	$7,7 - 7,2 = 0,5 < 0,98$	No hay diferencia significativa
H-C	$7,7 - 7,0 = 0,7 < 1,01$	No hay diferencia significativa
<b>H-G</b>	<b><math>7,7 - 6,4 = 1,3 &gt; 1,03</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-E</b>	<b><math>7,7 - 6,3 = 1,4 &gt; 1,05</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
F-A	$7,4 - 7,2 = 0,2 < 0,93$	No hay diferencia significativa
F-C	$7,4 - 7,0 = 0,4 < 0,98$	No hay diferencia significativa
F-G	$7,4 - 6,4 = 1,0 < 1,01$	No hay diferencia significativa
<b>F-E</b>	<b><math>7,4 - 6,3 = 1,1 &gt; 1,03</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
A-C	$7,2 - 7,0 = 0,2 < 0,93$	No hay diferencia significativa
A-G	$7,2 - 6,4 = 0,8 < 0,98$	No hay diferencia significativa
A-E	$7,2 - 6,3 = 0,9 < 1,01$	No hay diferencia significativa
C-G	$7,0 - 6,4 = 0,6 < 0,93$	No hay diferencia significativa
C-E	$7,0 - 6,3 = 0,7 < 0,98$	No hay diferencia significativa
G-E	$6,4 - 6,3 = 0,1 < 0,93$	No hay diferencia significativa

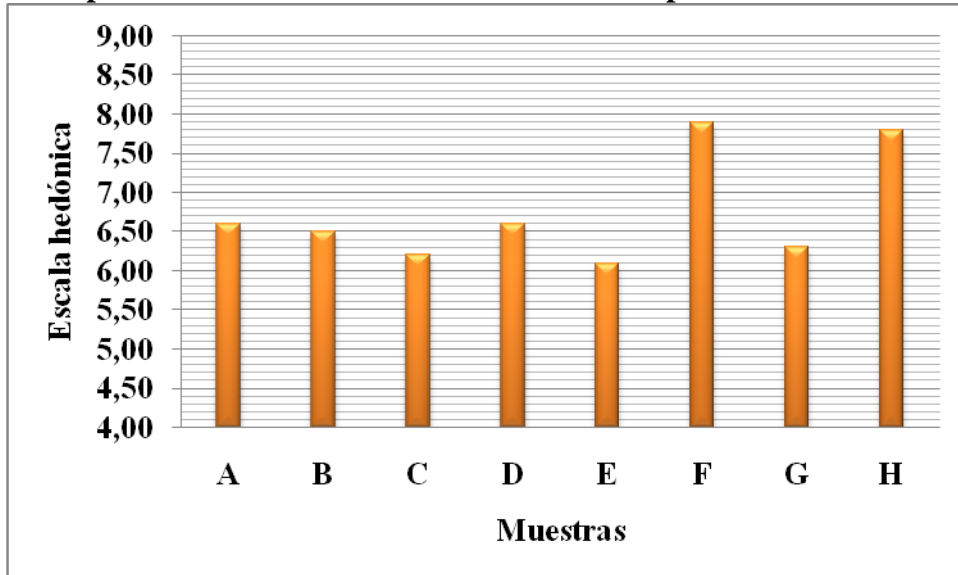
**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 4.13, se observa que si existe evidencia estadística entre los tratamientos (B-G, B-E, D-G, D-E, H-G, H-E, F-E) que son significativas, en comparación a las muestras (B-D, B-H, B-F, B-A, B-C, D-H, D-F, D-A, D-C, H-F, H-A, H-C, F-A, F-C, F-G, A-C, A-G, A-E, C-G, C-E, G-E) que no son significativos para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por las muestras B y D con mayor puntaje en la escala hedónica, se la tomó como la mejor muestra en cuanto se refiere al atributo aroma inicial para el proceso de fermentación.

#### 4.4.4.- EVALUACIÓN SENSORIAL INICIAL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO TEXTURA

En la figura 4.8, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial inicial del atributo textura en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.10.

**Figura 4.8**  
**Valores promedio del atributo textura inicial en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.8, se observa que las muestras de mayor aceptación para los jueces son las muestras: A = 6,60; D = 6,60; F = 7,90 y la muestra H = 7,80 en escala hedónica; en comparación a las muestras: B = 6,50; C = 6,20; E = 6,10 y G = 6,30, que son menores.

#### 4.4.4.1.- PRUEBA DE DUNCAN INICIAL PARA EL ATRIBUTO TEXTURA EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de los datos extraídos (Anexo D) para el atributo textura.

**Tabla 4.14**

**Prueba de Duncan para el atributo textura inicial en el proceso de fermentación**

Tratamientos	Análisis de los valores	Efectos
F-H	$7,9 - 7,8 = 0,1 < 1,047$	No hay diferencia significativa
<b>F-A</b>	$7,9 - 6,6 = 1,3 > 1,10$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>F-D</b>	$7,9 - 6,6 = 1,3 > 1,14$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>F-B</b>	$7,9 - 6,5 = 1,4 > 1,16$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>F-G</b>	$7,9 - 6,3 = 1,6 > 1,18$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>F-C</b>	$7,9 - 6,2 = 1,7 > 1,2$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>F-E</b>	$7,9 - 6,1 = 1,8 > 1,21$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-A</b>	$7,8 - 6,6 = 1,2 > 1,047$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-D</b>	$7,8 - 6,6 = 1,2 > 1,10$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-B</b>	$7,8 - 6,5 = 1,3 > 1,14$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-G</b>	$7,8 - 6,3 = 1,5 > 1,16$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-C</b>	$7,8 - 6,2 = 1,6 > 1,18$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>H-E</b>	$7,8 - 6,1 = 1,7 > 1,2$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
A-D	$6,6 - 6,6 = 0,0 < 1,047$	No hay diferencia significativa
A-B	$6,6 - 6,5 = 0,1 < 1,10$	No hay diferencia significativa
A-G	$6,6 - 6,3 = 0,3 < 1,14$	No hay diferencia significativa
A-C	$6,6 - 6,2 = 0,4 < 1,16$	No hay diferencia significativa
A-E	$6,6 - 6,1 = 0,5 < 1,18$	No hay diferencia significativa
D-B	$6,6 - 6,6 = 0,0 < 1,047$	No hay diferencia significativa
D-G	$6,6 - 6,3 = 0,3 < 1,10$	No hay diferencia significativa
D-C	$6,6 - 6,2 = 0,4 < 1,14$	No hay diferencia significativa
D-E	$6,6 - 6,1 = 0,5 < 1,16$	No hay diferencia significativa
B-G	$6,5 - 6,3 = 0,2 < 1,047$	No hay diferencia significativa
B-C	$6,5 - 6,2 = 0,3 < 1,10$	No hay diferencia significativa
B-E	$6,5 - 6,1 = 0,4 < 1,14$	No hay diferencia significativa
G-C	$6,3 - 6,2 = 0,1 < 1,047$	No hay diferencia significativa
G-E	$6,3 - 6,1 = 0,2 < 1,10$	No hay diferencia significativa
C-E	$6,2 - 6,1 = 0,1 < 1,047$	No hay diferencia significativa

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 4.14, se observa que si existe evidencia estadística entre los tratamientos (F-A, F-D, F-B, F-G, F-C, F-E, H-A, H-D, H-B, H-G, H-C, H-E) que son significativas, en comparación a los tratamientos (F-H, A-D, A-B, A-G, A-C, A-E, D-B, D-G, D-C, D-E, B-G, B-C, B-E, G-C, G-E, C-E) que no son significativos para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por la muestra F con mayor puntaje en la escala hedónica, se la tomó como la mejor opción en cuanto se refiere al atributo textura inicial para el proceso de fermentación.

#### **4.4.5.- DETERMINACIÓN INTERMEDIA DE ATRIBUTOS SENSORIALES DEL YOGUR EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN**

De acuerdo a los valores promedio de la evaluación sensorial inicial, se eligieron cuatro muestras de mayor aceptación; utilizando la misma composición de ingredientes en las muestras elegidas para realizar una evaluación sensorial intermedia, con el fin de reducir la variación de los atributos sensoriales realizados por los jueces en las ocho muestras del proceso de fermentación inicial.

En la tabla 4.15, se detallan los resultados promedio de las cuatro muestras intermedias; extraídas (Anexo D) para los atributos sensoriales de aroma, sabor, textura y acidez.

**Tabla 4.15**  
**Valores promedio de la evaluación sensorial intermedia en el proceso de fermentación**

<b>Muestras</b>	<b>Aroma</b>	<b>Sabor</b>	<b>Acidez</b>	<b>Textura</b>
B	6,80	6,90	6,50	7,00
D	7,20	8,10	7,80	7,40
F	7,70	8,20	7,80	7,60
H	7,00	7,00	7,40	7,00

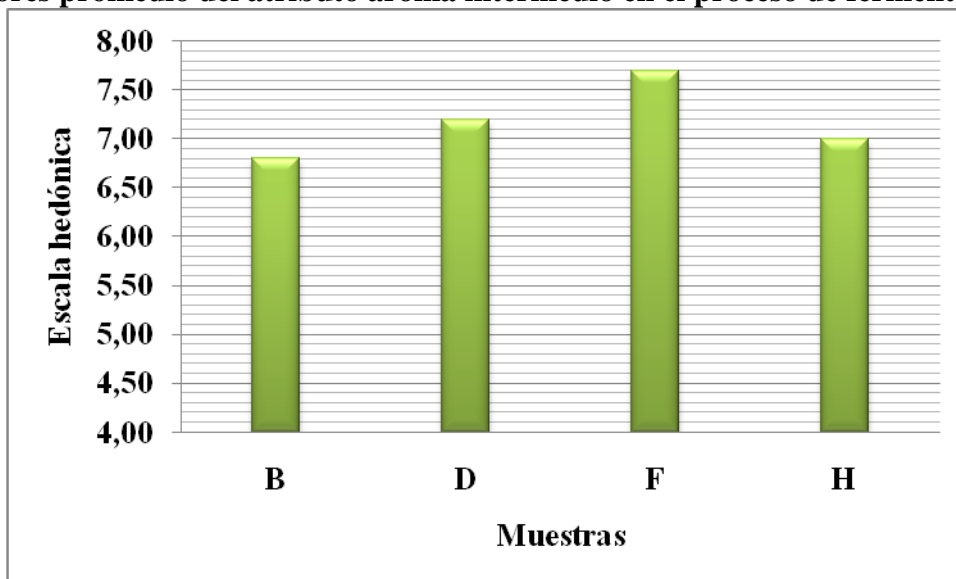
**Fuente: Elaboración propia**

En base a los resultados obtenidos de la tabla 4.15, se procedió a interpretar en forma analítica los diferentes atributos sensoriales analizados.

##### **4.4.5.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL INTERMEDIA EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO AROMA**

En la figura 4.9, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial del atributo aroma intermedio en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.15.

**Figura 4.9**  
**Valores promedio del atributo aroma intermedio en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.9, se observa que las muestras de mayor aceptación para los jueces son las muestras: D = 7,20; F = 7,70; en comparación a las muestras: B = 6,80 y H = 7,00, que son menores.

En la tabla 4.16, se muestra el análisis de varianza del atributo aroma en la evaluación sensorial intermedia del proceso de fermentación, en base a los resultados (Anexo D).

**Tabla 4.16**  
**Análisis de varianza para el atributo aroma intermedio en el proceso de fermentación**

Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Entre muestras	4,47	3	1,49	1,73	2,96
Entre Jueces	30,02	9	3,34	3,87	2,96
Error	23,27	27	0,86		
Total	57,77	39			

**Fuente: Elaboración propia**

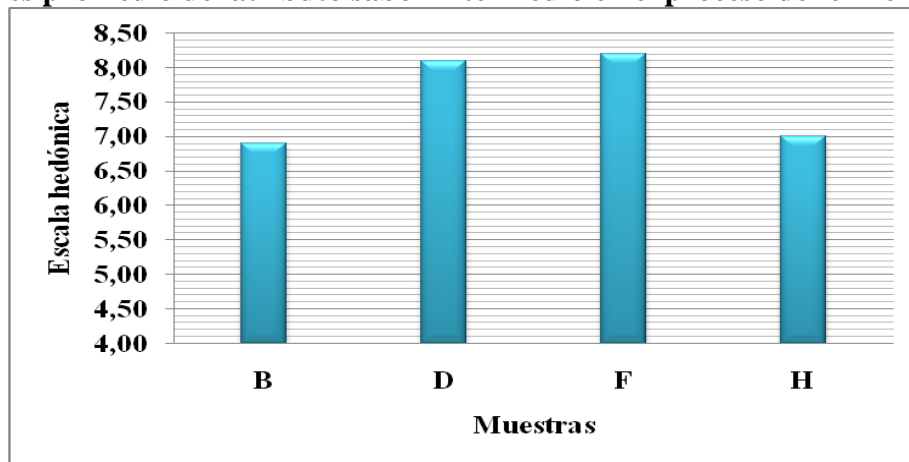
Como se puede observar en la tabla 4.16,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,73 < 2,96$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras

puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra F, como la mejor opción intermedia para realizar el proceso de fermentación.

#### **4.4.5.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL INTERMEDIA EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO SABOR**

En la figura 4.10, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial del atributo sabor intermedio en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.15.

**Figura 4.10**  
**Valores promedio del atributo sabor intermedio en el proceso de fermentación**



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.10, se observa que las muestras de mayor aceptación para los jueces son las muestras: D = 8,10; F = 8,20; en comparación a las muestras: B = 6,90 y H = 7,00, que son menores.

#### **4.4.5.2.1.- PRUEBA DE DUNCAN INTERMEDIA PARA EL ATRIBUTO SABOR EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN**

En la tabla 4.17, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de los datos extraídos (Anexo D), para el atributo sensorial de sabor.



**Tabla 4.17**  
**Prueba de Duncan para el atributo sabor intermedio en el proceso de fermentación**

Tratamientos	Análisis de los valores	Efectos
<b>C-B</b>	$8,2 - 8,1 = 0,1 > 0,66$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>C-D</b>	$8,2 - 7,0 = 1,2 > 0,69$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>C-A</b>	$8,2 - 6,9 = 1,3 > 0,72$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>B-D</b>	$8,1 - 7,0 = 1,1 > 0,66$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>B-A</b>	$8,1 - 6,9 = 1,2 > 0,69$	<b>Si hay diferencia significativa</b>
<b>D-A</b>	$7,0 - 6,9 = 0,1 < 0,66$	No hay diferencia significativa

**Fuente: Elaboración propia**

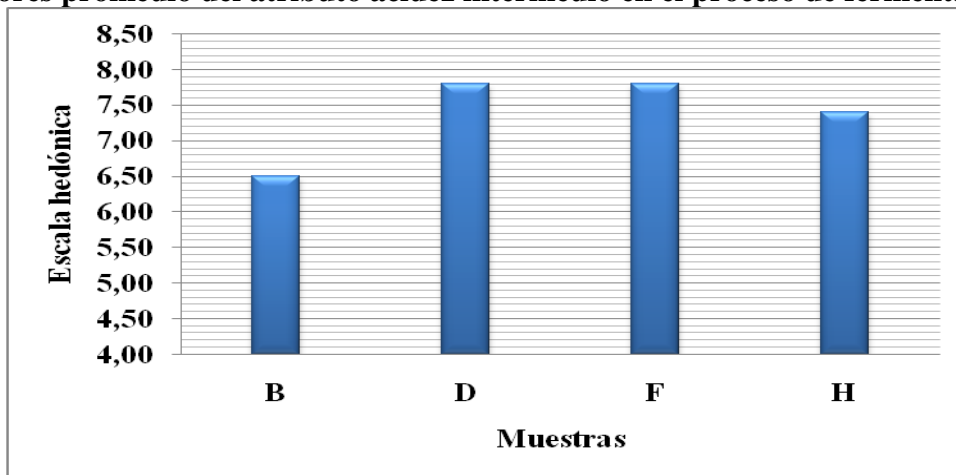
En la tabla 4.17, se observa que si existe evidencia estadística entre los tratamientos (C-B, C-D, C-A, B-D, B-A) en comparación a los tratamientos (D-A) que no son significativos para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por la muestra F con mayor puntaje en la escala hedónica, se la tomó como la mejor opción en cuanto se refiere al atributo sabor intermedio para el proceso de fermentación.

#### **4.4.6.- EVALUACIÓN SENSORIAL INTERMEDIA EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO ACIDEZ**

En la figura 4.11, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial del atributo acidez intermedio en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.15.

**Figura 4.11**

**Valores promedio del atributo acidez intermedio en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.11, se observa que las dos muestras de mayor aceptación para los jueces son las muestras: D = 7,80, F = 7,80; en comparación con las muestras: B = 6,50 y H = 7,40, que son menores.

#### 4.4.6.1.- PRUEBA DE DUNCAN INTERMEDIA PARA EL ATRIBUTO ACIDEZ EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de los datos extraídos (Anexo D), para el atributo sensorial de acidez.

**Tabla 4.18**  
**Prueba de Duncan para el atributo acidez intermedio en el proceso de fermentación**

Tratamientos	Análisis de los valores	Efectos
B-C	$7,8 - 7,8 = 0,0 < 0,55$	No hay diferencia significativa
B-D	$7,8 - 7,4 = 0,4 < 0,57$	No hay diferencia significativa
<b>B-A</b>	<b><math>7,8 - 6,5 = 1,3 &gt; 0,59</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
C-D	$7,8 - 7,4 = 0,4 < 0,55$	No hay diferencia significativa
<b>C-A</b>	<b><math>7,8 - 6,5 = 1,3 &gt; 0,57</math></b>	<b>Si hay diferencia significativa</b>
D-A	$7,4 - 6,5 = 0,9 < 0,55$	No hay diferencia significativa

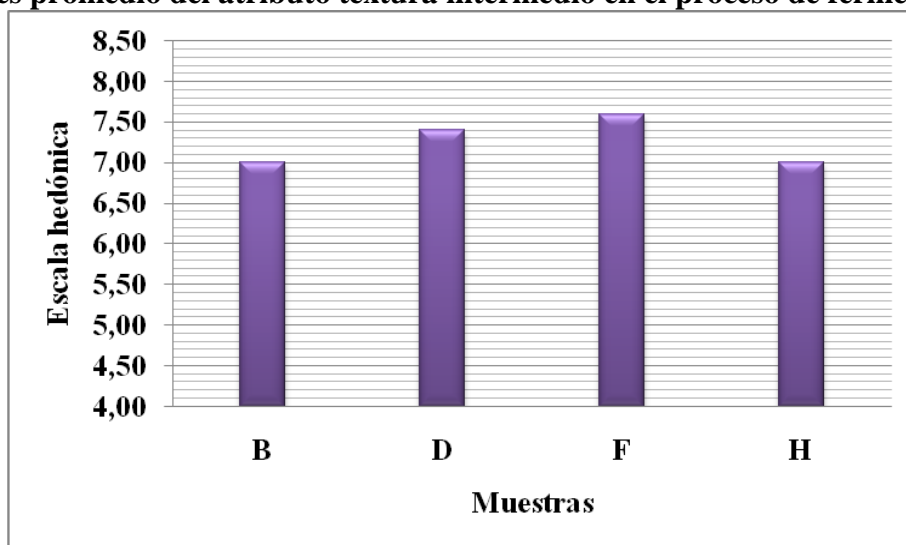
**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla 4.18, observa que si existe evidencia estadística entre los tratamientos (B-A y C-A) que son significativos, en comparación a los tratamientos (B-C, B-D, C-D, D-A) que no son significativos para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por las muestras D y F con mayor puntaje en la escala hedónica, se las tomó como las mejores opciones en cuanto se refiere al atributo aroma intermedio para el proceso de fermentación.

#### 4.4.7.- EVALUACIÓN SENSORIAL INTERMEDIA EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO TEXTURA

En la figura 4.12, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial del atributo textura intermedio en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.15.

**Figura 4.12**  
**Valores promedio del atributo textura intermedio en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 4.12, se observa que las muestras de mayor aceptación por los diez jueces no entrenados son las muestras: D = 7,40; F = 7,60; en comparación con las muestras: B = 7,00 y H = 7,00, que son menores.

En la tabla 4.19, se muestra el análisis de varianza del atributo textura de las muestras intermedias en el proceso de fermentación, en base a los resultados (Anexo D).

**Tabla 4.19**  
**Análisis de varianza para el atributo textura intermedio en el proceso de fermentación**

Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Entre muestras	2,70	3	0,90	1,82	2,96
Entre Jueces	15,50	9	1,72	3,49	2,96
Error	13,30	27	0,49		
Total	31,50	39			

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la tabla 4.19,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $1,82 < 2,96$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras

puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra F, como la mejor opción intermedia para realizar el proceso de fermentación.

#### **4.4.8.- DETERMINACIÓN FINAL DE LOS ATRIBUTOS SENSORIALES DEL YOGUR EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN**

De acuerdo a los resultados promedio de la evaluación sensorial intermedia de las cuatro muestras, se eligieron dos muestras de mayor aceptación por los jueces, utilizando la misma composición de ingredientes en las muestras elegidas para realizar una última evaluación sensorial, con el fin de reducir la variación de los atributos sensoriales realizados por los jueces en las cuatro muestras intermedias del proceso de fermentación.

En la tabla 4.20, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial final; extraída (Anexo D) para los atributos sensoriales de aroma, sabor, textura y acidez.

**Tabla 4.20**

**Valores promedio de la evaluación sensorial final en el proceso de fermentación**

<b>Muestras</b>	<b>Aroma</b>	<b>Sabor</b>	<b>Acidez</b>	<b>Textura</b>
D	8,20	8,10	7,40	8,10
F	8,00	8,20	8,10	8,30

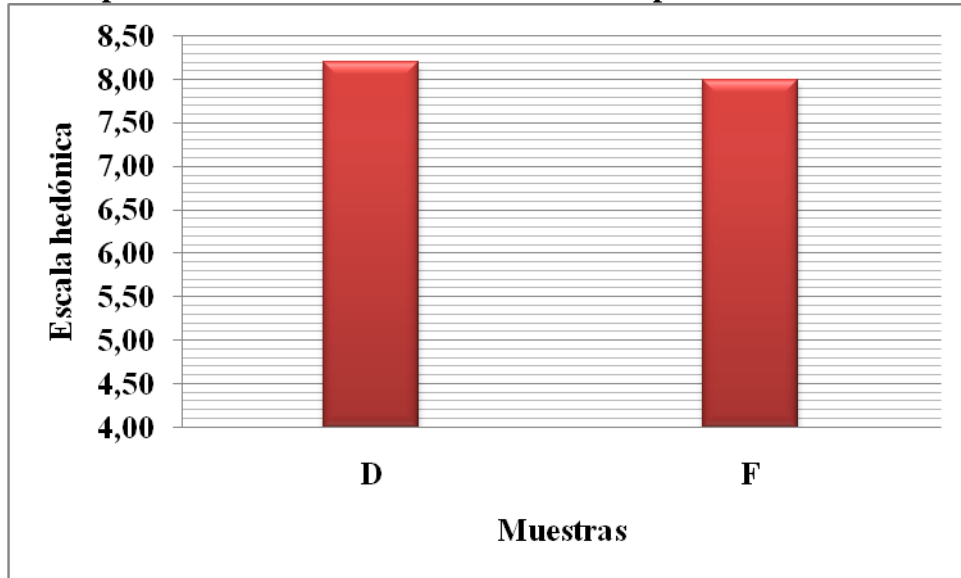
**Fuente: Elaboración propia**

En base a los resultados obtenidos de la tabla 4.20, se procedió a interpretar en forma analítica los diferentes atributos sensoriales analizados.

#### **4.4.8.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO AROMA**

En la figura 4.13, se muestran los valores promedio de la evaluación sensorial final del atributo aroma en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.20.

**Figura 4.13**  
**Valores promedio del atributo aroma final en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.13, se observa que la muestra de mayor aceptación para los jueces es la muestra: D = 8,20, en comparación a la muestra F = 8,00, que es menor. En la tabla 4.21, se muestra el análisis de varianza del atributo aroma final de las muestras en el proceso de fermentación, en base a los resultados (Anexo D).

**Tabla 4.21**  
**Análisis de varianza para el atributo aroma final en el proceso de fermentación**

Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Entre muestras	0,2	1	0,2	0,47	5,12
Entre Jueces	9,8	9	1,08	2,57	5,12
Error	3,8	9	0,42		
Total	13,8	19			

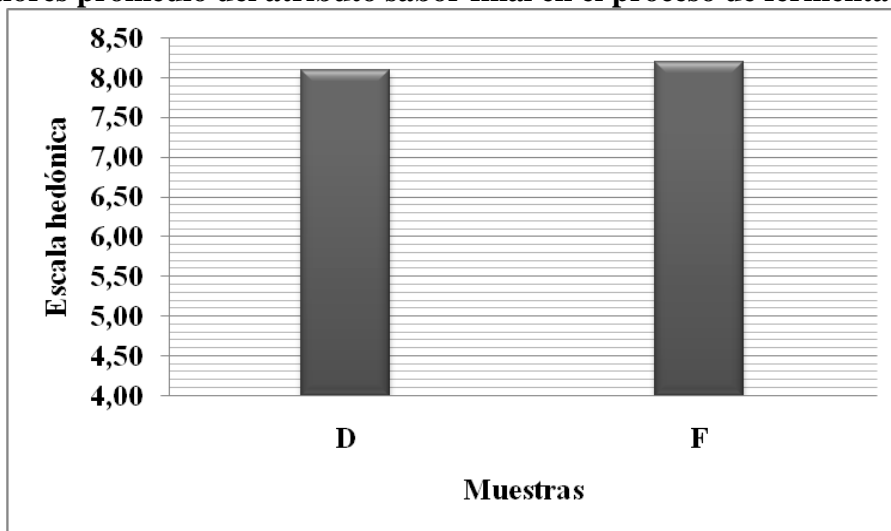
**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la tabla 4.21,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,47 < 5,12$ ) lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra D, como la mejor opción final para realizar el proceso de fermentación.

#### 4.4.8.2.- EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO SABOR

En la figura 4.14, se muestran los resultados promedio de la evaluación sensorial final del atributo sabor en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.20.

**Figura 4.14**  
Valores promedio del atributo sabor final en el proceso de fermentación



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura 4.14, se observa que la muestra de mayor aceptación para los jueces es la muestra: F = 8,20, en comparación a la muestra D = 8,10, que es menor.

En la tabla 4.22, se muestra el análisis de varianza del atributo sabor final de las muestras en el proceso de fermentación, en base a los resultados del (Anexo D).

**Tabla 4.22**  
Análisis de varianza para el atributo sabor final en el proceso de fermentación

Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Entre muestras	0,05	1	0,05	0,18	5,12
Entre Jueces	8,05	9	0,89	3,28	5,12
Error	2,45	9	0,27		
Total	10,55	19			

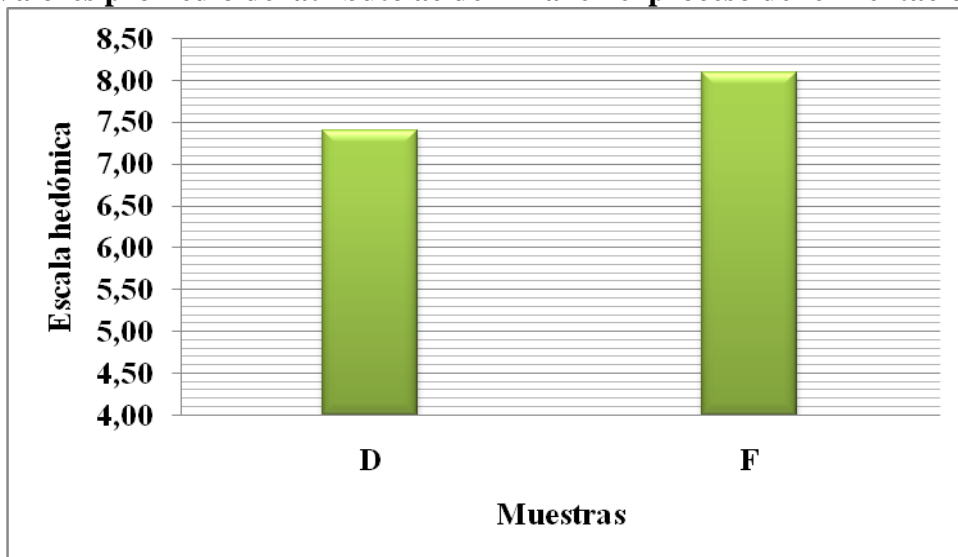
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.22,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,18 < 5,12$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra F, como la mejor opción final para realizar el proceso de fermentación.

#### 4.4.8.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO ACIDEZ

En la figura 4.15, se muestran los valores promedio de la evaluación sensorial final del atributo acidez en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.20.

**Figura 4.15**  
**Valores promedio del atributo acidez final en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**

De acuerdo a la figura 4.15, se observa que la muestra de mayor aceptación para los jueces es la muestra:  $F = 8,10$ , en comparación a la muestra  $D = 7,40$ , que es menor.

En la tabla 4.23, se muestra el análisis de varianza del atributo acidez final de las muestras en el proceso de fermentación, en base a los resultados (Anexo D).

**Tabla 4.23**  
**Análisis de varianza del atributo acidez final en el proceso de fermentación**

Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Entre muestras	2,45	1	2,45	3,13	5,12
Entre Jueces	18,25	9	2,03	2,58	5,12
Error	7,05	9	0,78		
Total	27,75	19			

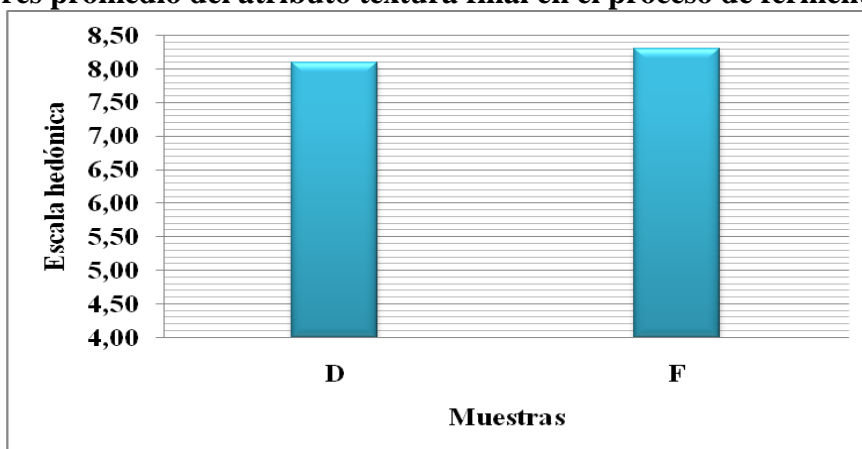
**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la tabla 4.23,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $3,13 < 5,12$ ) lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra F, como la mejor opción final para realizar el proceso de fermentación.

#### **4.4.8.4.- EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO TEXTURA**

En la figura 4.16, se muestran los valores promedio de la evaluación sensorial final del atributo textura en el proceso de fermentación, extraídos de la tabla 4.20.

**Figura 4.16**  
**Valores promedio del atributo textura final en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**



De acuerdo a la figura 4.16, se observa que la muestra de mayor aceptación para los jueces es: la muestra F = 8,30, en comparación a la muestra D = 8,10, que es menor.

En la tabla 4.24, se muestra el análisis de varianza del atributo textura final de las dos muestras en el proceso de fermentación, en base a los resultados del (Anexo D).

**Tabla 4.24**

**Análisis de varianza para el atributo textura final en el proceso de fermentación**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
Entre muestras	0,20	1	0,20	0,31	5,12
Entre Jueces	13,20	9	1,46	2,27	5,12
Error	5,80	9	0,64		
Total	19,20	19			

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la tabla 4.24,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,31 < 5,12$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra F, como la mejor opción final para realizar el proceso de fermentación.

Una vez terminadas las tres evaluaciones sensoriales en el proceso de fermentación, se pudo seleccionar a la muestra de mayor aceptación por los diez jueces, que sería la muestra F que contiene una concentración en cultivo probiótico de CCL: 0,02%, un tiempo de fermentación de t: 4,0 hrs y una temperatura de fermentación de T: 43°C, en comparación a la muestra D que contiene una concentración en cultivo probiótico de CCL: 0,02%, un tiempo de fermentación de t: 4,5 hrs y una temperatura de fermentación de T: 40°C.

#### 4.5.- DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LAS VARIABLES DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN

Para determinar las variables (temperatura, tiempo y concentración del cultivo lácteo probiótico) en el proceso de fermentación, se realizó de acuerdo al diseño factorial (tabla 3.9) con los niveles de variación (tabla 3.10); en donde la variable medida fue el ácido láctico expresada en °Dornic y los resultados se muestran en la tabla 4.25.

**Tabla 4.25**  
**Ácido láctico expresado en °Dornic en el proceso de fermentación**

Corridas	CCL	t	T	Réplica y <sub>1</sub>	Réplica y <sub>2</sub>	Y <sub>i</sub>
<b>1</b>	0,03 g	4,00 hrs	40 °C	62,50	63,30	<b>125,80</b>
<b>CCL</b>	0,20 g	4,00 hrs	40 °C	72,00	73,50	<b>145,50</b>
<b>t</b>	0,03 g	4,50 hrs	40 °C	72,30	73,00	<b>145,30</b>
<b>T</b>	0,20 g	4,50 hrs	40 °C	80,20	81,30	<b>161,50</b>
<b>CCLt</b>	0,03 g	4,00 hrs	43 °C	63,00	63,70	<b>126,70</b>
<b>CCLT</b>	0,20 g	4,00 hrs	43 °C	81,00	81,50	<b>162,50</b>
<b>tT</b>	0,03 g	4,50 hrs	43 °C	65,00	66,00	<b>131,00</b>
<b>CCLtT</b>	0,20 g	4,50 hrs	43 °C	76,50	78,00	<b>154,50</b>
<b>∑Y<sub>ij</sub> = 1152,80</b>						

**Fuente: Elaboración propia**

Donde:

- CCL: Concentración de cultivo lácteo
- t: Tiempo
- T: Temperatura
- CCLt: Interacción (concentración de cultivo lácteo - tiempo)
- CCLT: Interacción (concentración de cultivo lácteo - temperatura)
- tT: Interacción (tiempo – temperatura)
- CCLtT: Interacción (concentración de cultivo lácteo – tiempo – temperatura)

En base a los resultados de la tabla 4.25, se procedió a realizar el análisis de varianza de los valores de acidez (tabla 4.26) para un diseño experimental de 2<sup>3</sup>; extraídos (Anexo E).

El análisis de varianza, realizado con los datos de ácido láctico (°Dornic) de las dos réplicas obtenidos de la tabla 4.25, se muestran en la tabla 4.26.

**Tabla 4.26**  
**Análisis de varianza para las variables del proceso de fermentación**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Fcal	Ftab	Influencia
SS(1)	785,36	15				
SS(T)	566,44	1	566,44	1048,96	<b>5,32</b>	<b>Si</b>
SS(t)	63,20	1	63,20	117,04	<b>5,32</b>	<b>Si</b>
SS(Tt)	15,60	1	15,60	28,89	<b>5,32</b>	<b>Si</b>
SS(CCL)	0,68	1	0,68	1,26	<b>5,32</b>	No
SS(TCCL)	34,22	1	34,22	63,37	<b>5,32</b>	<b>Si</b>
SS(tCCL)	96,04	1	96,04	177,85	<b>5,32</b>	<b>Si</b>
SS(TtCCL)	4,84	1	4,84	8,96	<b>5,32</b>	<b>Si</b>
SS(Error)	4,33	8	0,54			

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la tabla 4.26, el factor temperatura (T); es altamente significativo, el factor tiempo (t) y la interacción (tCCL) tiempo-concentración cultivo láctico son significativos. Así mismo, la interacción de los factores (Tt) temperatura-tiempo, (TCCL) temperatura-concentración de cultivo láctico, (tCCL) tiempo-concentración cultivo láctico y (TtCCL) temperatura-tiempo-concentración cultivo láctico; y no así el factor (CCL) concentración cultivo láctico para un límite de confianza  $p < 0,05$ .

En base a este análisis estadístico, se puede decir que los factores de temperatura y tiempo de fermentación son los que inciden directamente en el proceso de fermentación y no así la concentración de cultivo láctico.

#### **4.6.- CONTROL DE ACIDEZ Y pH EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE YOGUR PROBIÓTICO ENRIQUECIDO CON OMEGA-3**

Una vez seleccionadas las variables en los procesos de dosificación y fermentación, se procedió a realizar el control de acidez (°Dornic) cada media hora hasta terminar el

proceso de fermentación de elaboración del yogur probiótico enriquecido con Omega-3.

#### 4.6.1.- CONTROL DE ACIDEZ EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

En la tabla 4.27, se muestran los resultados de ácido láctico (°Dornic) realizados cada media hora, en diferentes tiempos y temperaturas del proceso de fermentación del yogur probiótico enriquecido con Omega-3.

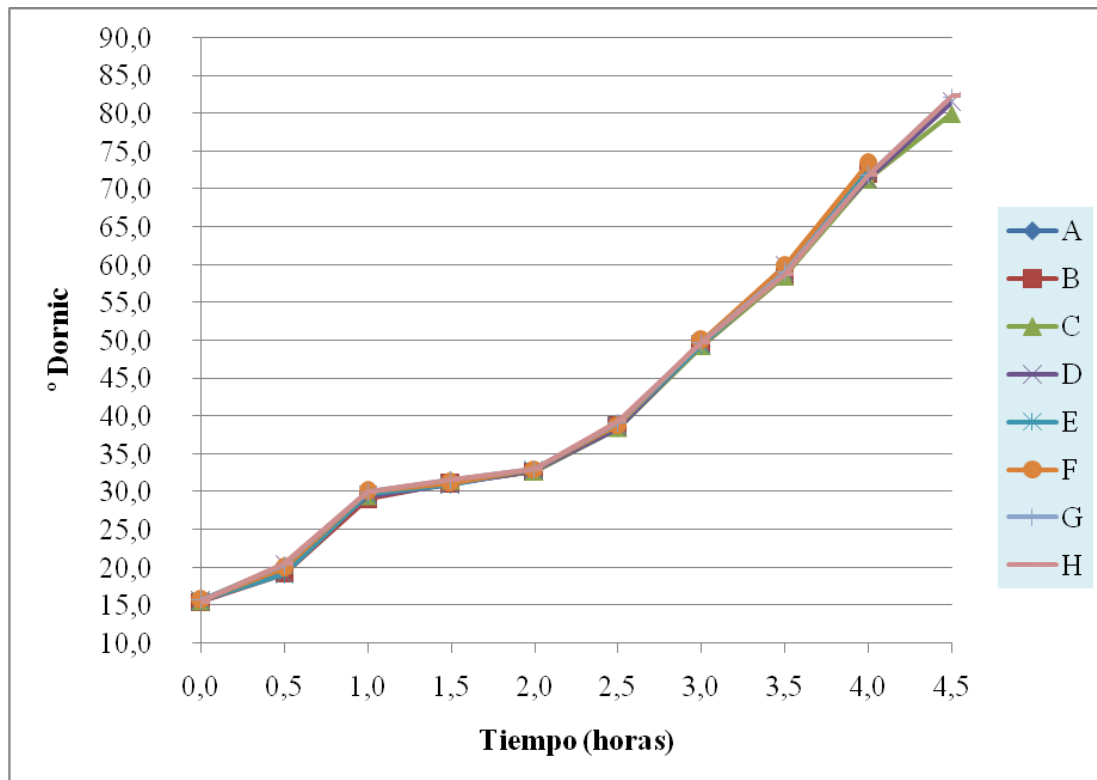
**Tabla 4.27**  
**Variación de ácido láctico (° Dornic) en el proceso de fermentación**

Muestras	0,0 h	0,5 h	1,0 h	1,5 h	2,0 h	2,5 h	3,0 h	3,5 h	4,0 h	4,5 h
<b>A</b>	15,50	20,00	29,20	31,10	32,70	38,50	49,30	59,00	72,00	
<b>B</b>	15,50	19,20	29,10	31,10	32,70	38,60	49,30	58,50	72,00	
<b>C</b>	15,60	20,40	29,50	31,50	32,70	38,50	49,30	58,50	71,30	80,00
<b>D</b>	15,60	20,30	29,50	31,00	32,90	38,50	49,60	59,80	71,30	81,50
<b>E</b>	15,60	19,10	29,70	31,00	33,00	38,90	49,50	59,00	72,40	
<b>F</b>	15,70	20,00	30,10	31,20	33,00	38,90	50,00	59,80	73,40	
<b>G</b>	15,70	20,40	30,00	31,60	33,00	39,20	49,80	59,00	71,80	82,20
<b>H</b>	15,50	20,50	30,00	31,60	33,00	39,50	49,80	58,70	71,80	82,30

**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 4.17, se muestra la variación de los valores de acidez, expresados en (ácido láctico) por cada media hora en diferentes tiempos y temperaturas de fermentación.

**Figura 4.17**  
**Variación de acidez (°Dornic) en el proceso de fermentación**



**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la figura 4,17, no existe variación significativa en cuanto a la acidez de cada una de las muestras analizadas; solo se observa que a medida que se incrementa el tiempo de fermentación, la acidez expresada en °Dornic aumenta. Comparando con la muestra F, que obtuvo la mayor puntuación en escala hedónica, donde los jueces percibieron una acidez agradable del 73,40 °Dornic para un tiempo óptimo de fermentación de 4 horas.

#### **4.6.2.- CONTROL DE pH EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN**

En la tabla 4.28, se muestran los resultados de pH realizados cada media hora a diferentes tiempos y temperaturas del proceso de fermentación del yogur probiótico enriquecido con Omega-3.

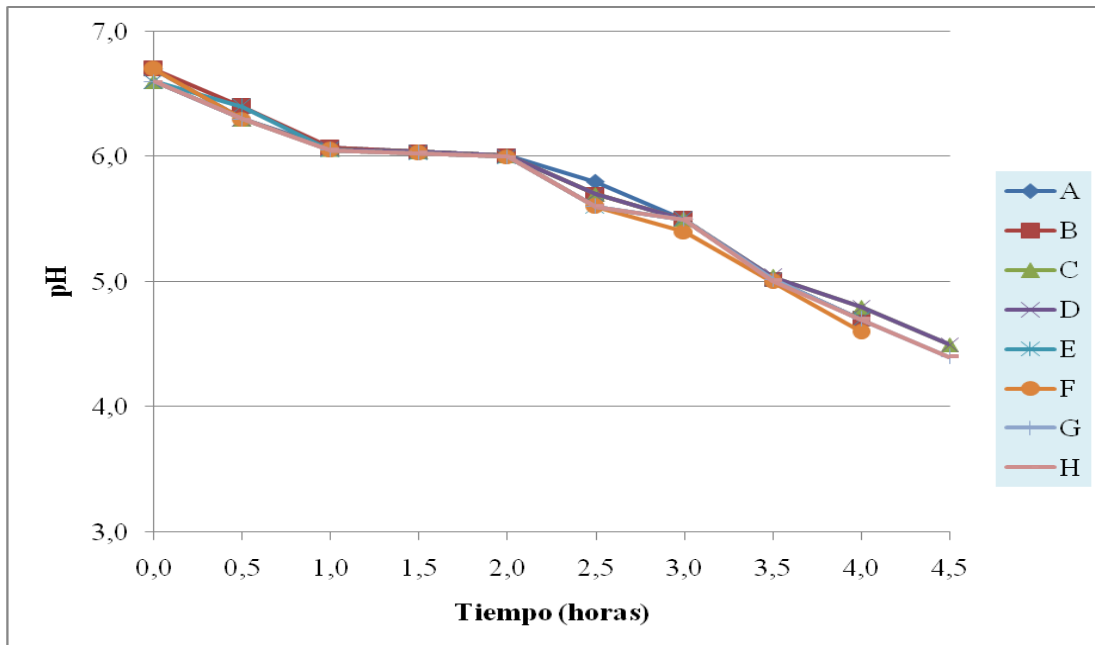
**Tabla 4.28**  
**Variación de pH en el proceso de fermentación**

Muestras	0,0 h	0,5 h	1,0 h	1,5 h	2,0 h	2,5 h	3,0 h	3,5 h	4,0 h	4,5 h
A	6,70	6,30	6,07	6,04	6,01	5,80	5,50	5,02	4,70	
B	6,70	6,40	6,07	6,04	6,01	5,70	5,50	5,02	4,70	
C	6,60	6,30	6,06	6,04	6,01	5,70	5,50	5,04	4,80	4,50
D	6,60	6,30	6,06	6,03	6,01	5,70	5,50	5,04	4,80	4,50
E	6,60	6,40	6,05	6,03	6,00	5,60	5,50	5,02	4,70	
F	6,70	6,30	6,05	6,03	6,00	5,60	5,40	5,00	4,60	
G	6,60	6,30	6,05	6,03	6,00	5,60	5,50	5,02	4,70	4,40
H	6,60	6,30	6,05	6,03	6,00	5,60	5,50	5,01	4,70	4,40

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 4.18, se muestra la gráfica de los valores de variación de pH por cada media hora a diferentes tiempos y temperaturas.

**Figura 4.18**  
**Variación de pH en el proceso de fermentación**



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 4,18, no existe variación significativa en cuanto al valor de pH de cada una de las muestras analizadas; solo se observa que a medida que se incrementa el tiempo de fermentación, el pH disminuye. Comparando con la

muestra F, que obtuvo la mayor puntuación en escala hedónica, donde los jueces percibieron un pH agradable de 4,60, para un tiempo de fermentación igual a 4 horas.

#### **4.7.- SABORIZACIÓN DEL YOGUR PROBIÓTICO**

Una vez obtenido el producto final sin sabor, se seleccionó cuatro sabores de yogur (frutilla, durazno, banana y coco) que mayormente la gente consume, para saborizar al yogur natural probiótico con semillas de chía, con el fin de mejorar sus características organolépticas y así brindar al mercado un producto más atractivo para el consumidor.

Se elaboró cuatro muestras de yogur con las características de tiempo, temperatura de fermentación, concentración de cultivo lácteo, cantidad de azúcar y cantidad leche en polvo, ya establecidas; donde cada muestra fue saborizada (tabla 4.29) y sometida a una evaluación sensorial con la ayuda de 10 jueces no entrenados para seleccionar al yogur probiótico que presentó el mejor sabor.

**Tabla 4.29**  
**Muestras Saborizadas**

<b>Muestras</b>	<b>Sabor</b>
<b>MA</b>	Frutilla
<b>MB</b>	Durazno
<b>MC</b>	Banana
<b>MD</b>	Coco

**Fuente: Elaboración propia**

##### **4.7.1.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL ATRIBUTO SABOR PARA SELECCIONAR EL SABORIZANTE EN EL YOGUR PROBIÓTICO**

En la tabla 4.30, se muestran los resultados obtenidos de los valores promedio del análisis sensorial realizado al yogur probiótico saborizado, extraídos (Anexo D).

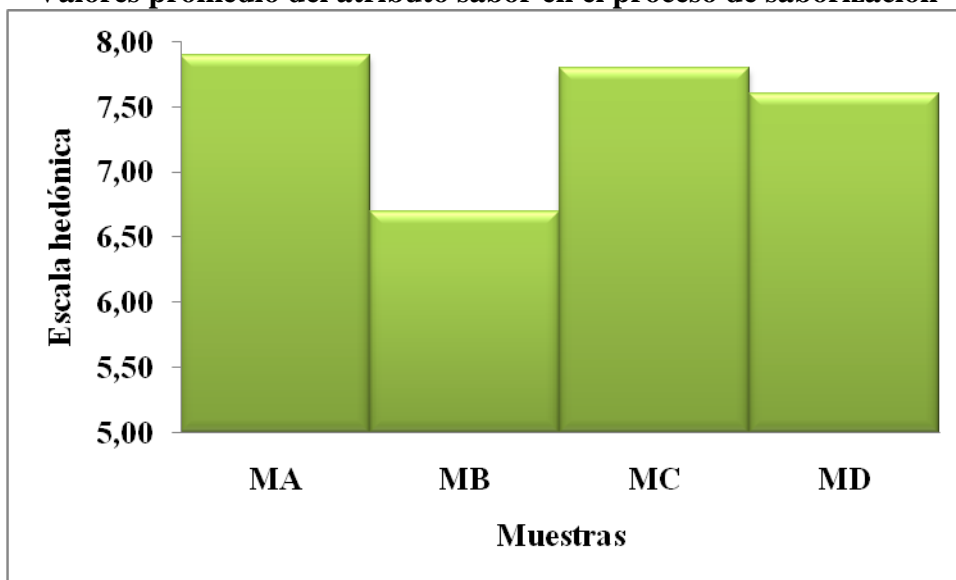
**Tabla 4.30**  
**Evaluación sensorial del atributo sabor del yogur probiótico saborizado**

Muestras	Escala hedónica
MA	7,90
MB	6,70
MC	7,80
MD	7,60

**Fuente: Elaboración propia**

En base a los resultados promedio de la evaluación sensorial de las muestras saborizadas (tabla 4.30), se procedió a representar gráficamente los resultados en la figura 4.19.

**Figura 4.19**  
**Valores promedio del atributo sabor en el proceso de saborización**



**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 4.19, se muestra que de las cuatro muestras evaluadas, la muestra MA (sabor frutilla) es la que tiene mayor aceptación por los jueces con un valor de 7,90, la muestra MC (sabor banana) con 7,80, la muestra MD (sabor coco) con 7,60 y por último la muestra MB (sabor durazno) con 6,70.

En la tabla 4.31, se muestra el análisis de varianza en el proceso de saborización del producto final (Anexo D).



**Tabla 4.31**  
**Análisis de varianza del atributo sabor del yogur probiótico saborizado**

<b>Fuente de Variación</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Fcal</b>	<b>Ftab</b>
Entre muestras	9,00	3	3,00	2,22	2,96
Entre Jueces	0,50	9	0,06	0,04	2,96
Error	36,50	27	1,35		
Total	46,00	39			

**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la tabla 4.31,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,22 < 2,96$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra MA sabor frutilla, como la mejor opción en relación a las muestras MB sabor durazno, MC sabor banana y MD sabor coco.

#### **4.8.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO TERMINADO**

Para caracterizar el producto terminado, se tomó en cuenta los siguientes aspectos, como ser:

##### **4.8.1.- ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DEL PRODUCTO TERMINADO**

En la tabla 4.32, se muestra el análisis fisicoquímico realizado al yogur probiótico enriquecido con Omega-3 (Anexo B).

**Tabla 4.32**  
**Resultado del análisis fisicoquímico del producto terminado**

Parámetros	Unidad	Valores
Acidez	%	0,95
Cenizas	%	1,02
Fibra	%	1,81
Hidratos de carbono	%	13,17
Materia grasa	%	2,88
Humedad	%	77,40
Proteína total	%	3,72
Valor energético	Kcal/100 g	93,48

**Fuente: CEANID, 2011**

Como se puede observar en la tabla 4.32, el contenido de acidez final del yogur es de 0,95%, fibra 1,02%, hidratos de carbono 13,17%, materia grasa 2,88%, proteína total 3,72% y valor energético de 93,48 Kcal/100 g.

#### **4.8.2.- ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO TERMINADO**

En la tabla 4.33, se muestra el análisis microbiológico realizado al yogur probiótico con Omega-3 (Anexo B), elaborado según la Norma Boliviana para yogur natural.

**Tabla 4.33**  
**Análisis microbiológico del producto terminado**

Parámetro	Unidad	Resultado
Coliformes totales	NMP/ml	0,00
Coliformes fecales	NMP/ml	0,00
Mohos y levaduras	ufc/g	1,50x10 <sup>2</sup>

**Fuente: CEANID, 2011**

Como se puede observar en la tabla 4.33, el análisis microbiológico del yogur probiótico con Omega-3, contiene 1,50x10<sup>2</sup> ufc/g de mohos y levaduras y coliformes totales y fecales (0,00 NMP/ml).

### 4.8.3.- EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO TERMINADO

Se realizó el análisis sensorial del yogur probiótico con Omega-3 sabor frutilla, tomando en cuenta los atributos sensoriales de sabor, aroma, textura y acidez. Los resultados promedio obtenidos del (Anexo D), se muestran en la tabla 4.34, en base a diez jueces no entrenados.

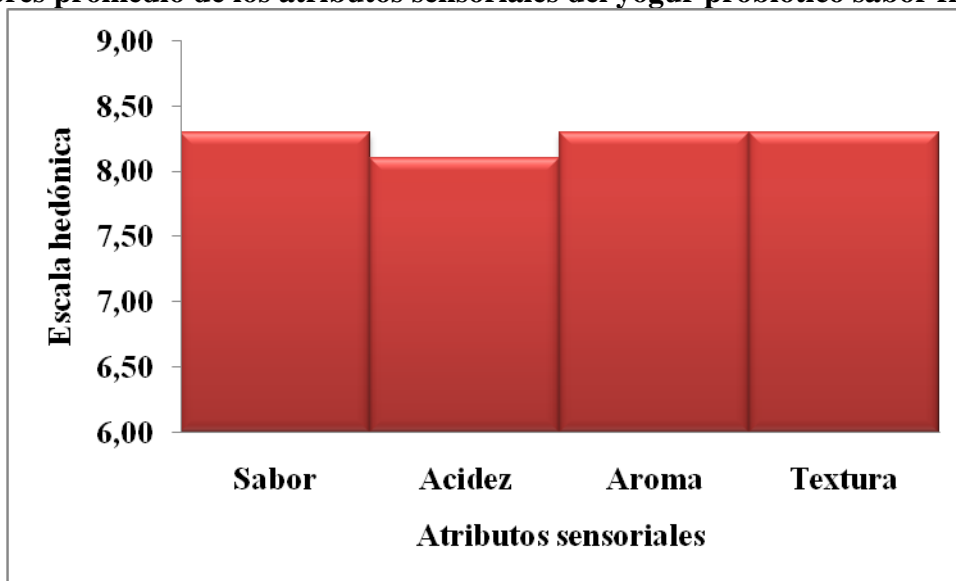
**Tabla 4.34**  
**Evaluación sensorial de los atributos sensoriales del producto terminado**

Muestra	Atributos sensoriales			
	Sabor	Acidez	Aroma	Textura
MF	8,30	8,10	8,30	8,30

**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 4.20, se muestran los valores promedio de aceptación de los diferentes atributos sensoriales del yogur probiótico con Omega-3 sabor frutilla en base a los resultados de la tabla 4.34.

**Figura 4.20**  
**Valores promedio de los atributos sensoriales del yogur probiótico sabor frutilla**



**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 4.20, se observa que de los cuatro atributos evaluados, los atributos sabor, aroma y textura tienen mayor aceptación por los jueces con un valor de 8,30, en comparación con el atributo acidez que tiene un valor de 8,10.

En la tabla 4.35, se muestra el análisis de varianza de los atributos sensoriales del yogur sabor frutilla.

**Tabla 4.35**  
**Análisis de varianza de los cuatro atributos del yogur probiótico sabor frutilla**

Fuente de Variación	SC	GL	CM	Fcal	Ftab
Entre muestras	0,30	3	0,10	0,47	2,96
Entre Jueces	7,50	9	0,83	3,95	2,96
Error	5,70	27	1,21		
Total	13,5	39			

**Fuente: Elaboración propia**

Como se observa en la tabla 4.35,  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $0,47 < 2,96$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre los atributos; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de los atributos puede ser elegido estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por los atributos sabor, aroma y textura que tienen 8,3; en comparación con el atributo acidez que tiene 8,1. De acuerdo a la evaluación sensorial, se puede decir que el yogur probiótico con semillas de chía sabor frutilla, tiene una buena aceptación organoléptica en sus atributos analizados.

#### **4.8.4.- CONTROL DE pH DEL PRODUCTO SABORIZADO DURANTE EL ALMACENAMIENTO**

Para realizar el control del pH del producto en el proceso de almacenamiento, se procedió a realizar el control del pH del yogur probiótico con semilla de chía sabor frutilla con conservante por 15 días a condiciones de refrigeración; para verificar si el yogur probiótico mantiene las mismas condiciones en cuanto al pH inicial (4,6). Utilizando yogur batido del Taller de Alimentos (LTA), y comparando en cuanto, se

refiere a la variación del pH; manteniendo las mismas condiciones del yogur probiótico

En el cuadro 4.1, se muestran los valores de pH en función al tiempo de almacenamiento del yogur probiótico con semillas de chía (YP) y yogur tradicional (YT).

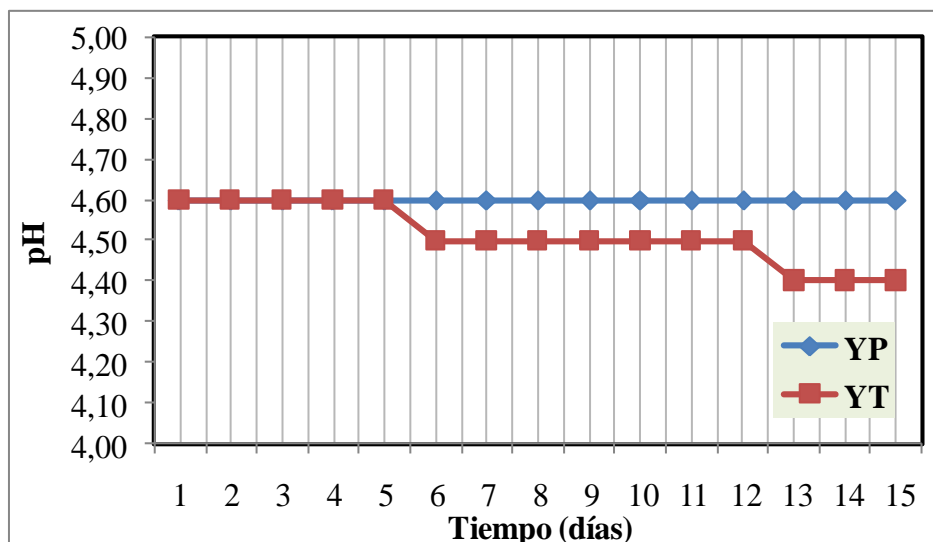
**Cuadro 4.1**  
**Valores de pH del yogur probiótico con semillas de chía y yogur tradicional**

Días	pH	
	Yogur probiótico (YP)	Yogur tradicional (YT)
1	4,6	4,6
2	4,6	4,6
3	4,6	4,6
4	4,6	4,6
5	4,6	4,6
6	4,6	4,5
7	4,6	4,5
8	4,6	4,5
9	4,6	4,5
10	4,6	4,5
11	4,6	4,5
12	4,6	4,5
13	4,6	4,4
14	4,6	4,4
15	4,6	4,4

**Fuente: Elaboración propia**

En la figura 4.21, se muestran gráficamente los valores de pH en función del tiempo de almacenamiento.

**Figura 4.21**  
**Control de pH en el proceso de almacenamiento del yogur**



**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la figura 4.21, los valores de pH del yogur probiótico no varían en función de los días de almacenamiento, es decir se mantiene en 4,60. Sin embargo, el yogur tradicional comienza a variar el pH desde 6<sup>to</sup> día (pH=4,5) y 13<sup>vo</sup> día (pH=4,4). También, se pudo observar organolépticamente en el yogur probiótico al 15<sup>vo</sup> día; ya empezaba a mostrarse un olor suave a maduración. Esto nos dio una pauta que el tiempo de duración es de 15 días, como máximo para el yogur probiótico con semilla de chía.

En relación a la variación del pH, se debe exclusivamente al tipo de cepa utilizado en ambos productos; ya que las bacterias probióticas utilizadas en la elaboración del yogur probiótico; en comparación a los valores de pH obtenidos del yogur tradicional, no varían debido a que contienen las cepas probióticas; ya que las mismas son más estables en relación al pH y no en cuanto se refiere a la acidez. También, se realizó un control yogur probiótico sin semilla de chía y los resultados fueron similares al producto con semilla de chía, viéndose que no tiene ninguna influencia directa en cuanto se refiere al pH ni a la conservación del producto.

#### 4.8.5.- DEGUSTACIÓN Y ENCUESTA DEL PRODUCTO FINAL SABOR FRUTILLA

La degustación y encuesta del yogur probiótico con Omega-3 sabor frutilla, se realizó utilizando a 10 jueces no entrenados tomados al azar. En la tabla 4.36, se muestran los resultados de la degustación y encuesta del producto final (Anexo C).

**Tabla 4.36**  
**Resultados de la degustación y encuesta del producto final sabor frutilla**

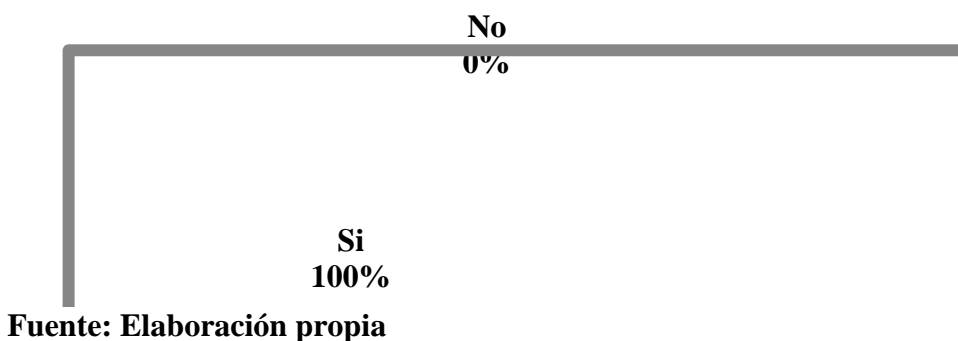
Resultado de las 6 preguntas												
Pregunta 1		Pregunta 2			Pregunta 3		Pregunta 4		Pregunta 5		Pregunta 6	
Si	No	(+)	(-)	(=)	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
10	0	10	0	0	8	2	10	0	10	0	10	0

**Fuente: Elaboración propia**

En base a los resultados de la tabla 4.36, se procedió a interpretar individualmente cada pregunta consultada en la encuesta.

En la figura 4.22, se muestra la pregunta 1 realizada a los encuestados en base a los datos de la tabla 4.36.

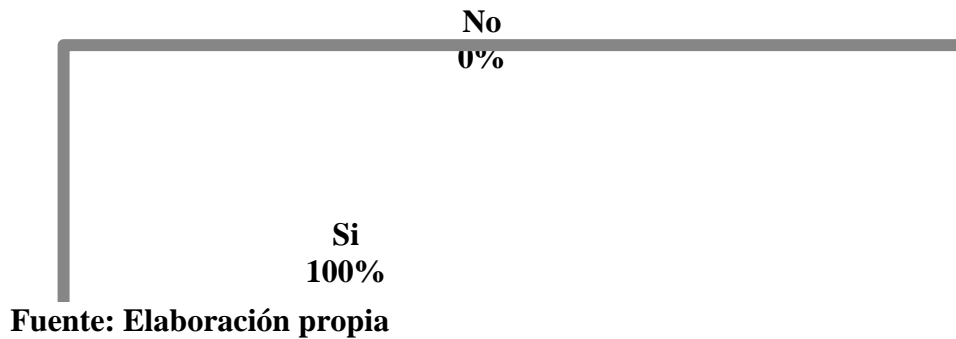
**Figura 4.22**  
**Resultados de la pregunta 1 en el producto final sabor frutilla**



Como se puede observar en la figura 4.22, las diez personas que fueron encuestadas no sienten un sabor diferente comparado al yogur que frecuentemente consumen.

En la figura 4.23, se muestra la pregunta 2 realizada a los encuestados en base a los datos de la tabla 4.36.

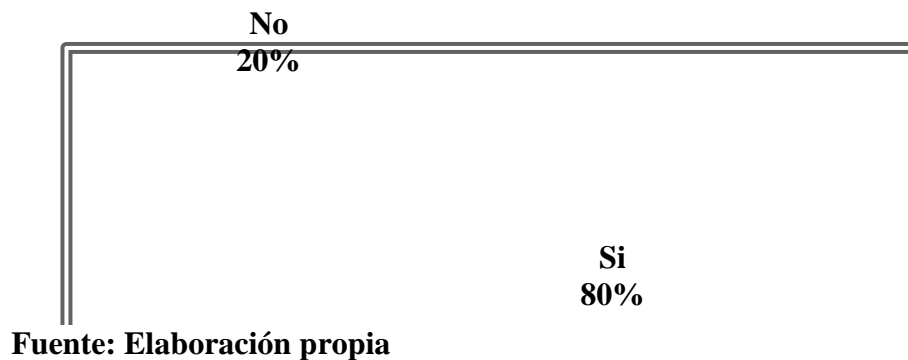
**Figura 4.23**  
**Resultados de la pregunta 2 en el producto final sabor frutilla**



Como se puede observar en la figura 4.23, las diez personas que fueron encuestadas les parece que el yogur probiótico con Omega-3, es más agradable que el yogur que frecuentemente consumen.

En la figura 4.24, se muestra la pregunta 3 realizada a los encuestados en base a los datos de la tabla 4.36.

**Figura 4.24**  
**Resultados de la pregunta 3 en el producto final sabor frutilla**

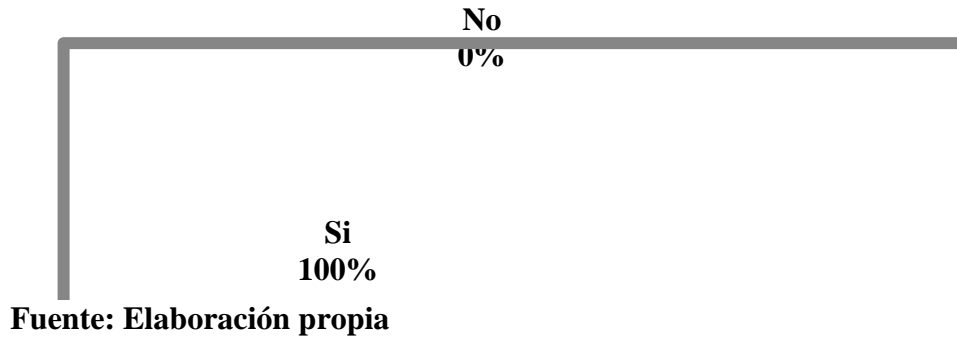


Como se puede observar en la figura 4.24, del 100% de las personas que fueron encuestadas, un 20% no sienten sabor a fibra en el producto y un 80% sí sienten sabor a fibra en el producto.



En la figura 4.25, se muestra la pregunta 4 realizada a los encuestados en base a los datos de la tabla 4.36.

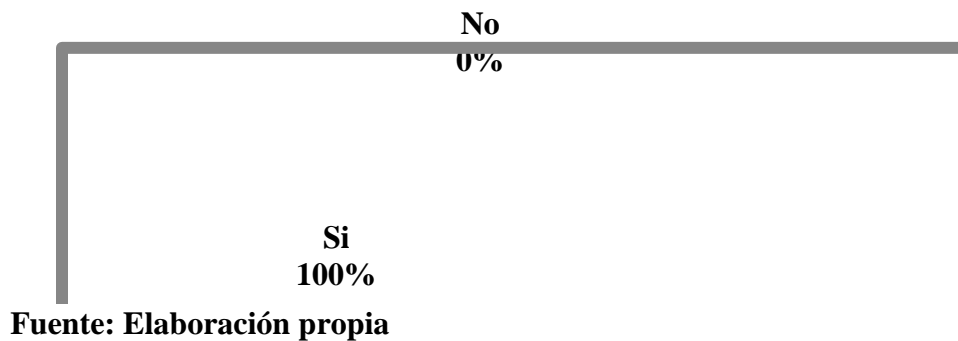
**Figura 4.25**  
**Resultados de la pregunta 4 en el producto final sabor frutilla**



Como se puede observar en la figura 4.25, el 100% de las personas que fueron encuestadas les agrada la textura del yogur con las semillas de chía.

En la figura 4.26, se muestra la pregunta 5 realizada a los encuestados en base a los datos de la tabla 4.36.

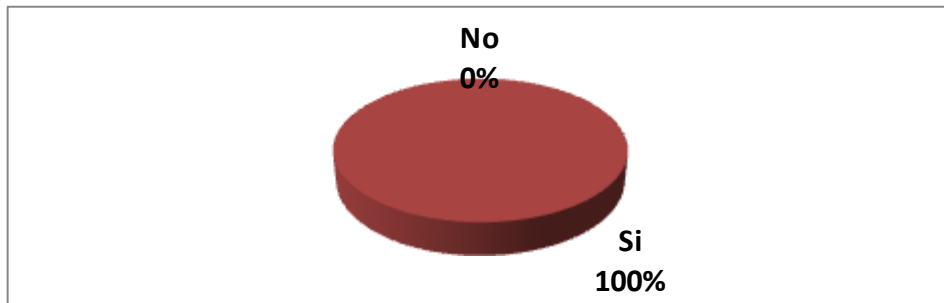
**Figura 4.26**  
**Resultados de la pregunta 5 en el producto final sabor frutilla**



Como se puede observar en la figura 4.26, el 100% de las personas que fueron encuestadas, preferirían consumir yogur probiótico con Omega-3.

En la figura 4.27, se muestra la pregunta 6 realizada a los encuestados en base a los datos de la tabla 4.36.

**Figura 4.27**  
**Resultados de la pregunta 5 en el producto final sabor frutilla**



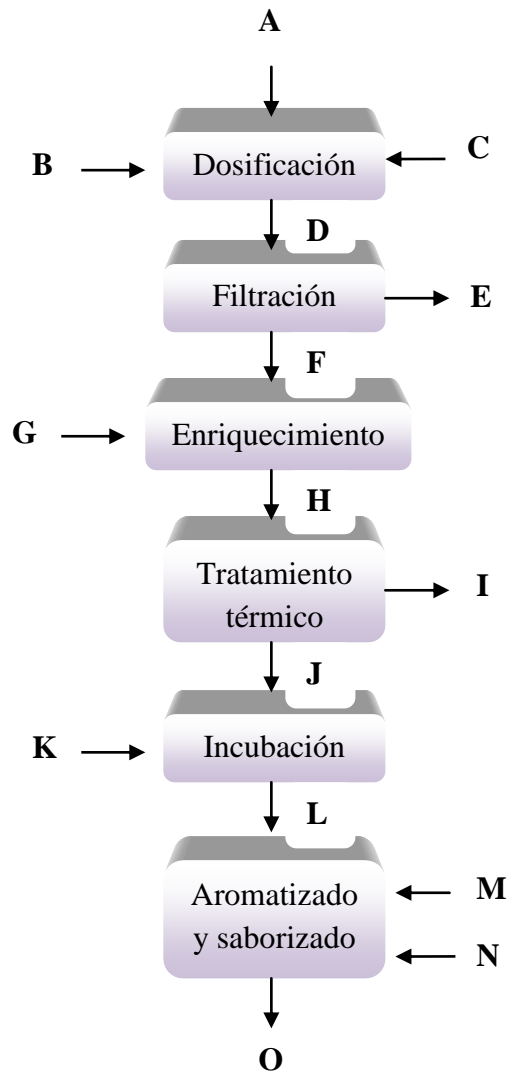
**Fuente: Elaboración propia**

Como se puede observar en la figura 4.27, el 100% de las personas que fueron encuestadas, les agrada el producto.

#### **4.9.- BALANCE DE MATERIA**

El balance de materia para el proceso de elaboración de yogur probiótico enriquecido con Omega-3, se realizó tomando en cuenta el diagrama de bloques representado en la figura 4.28.

**Figura 4.28**  
**Proceso de elaboración de yogur probiótico enriquecido con Omega-3**



**Fuente: Elaboración propia**

**Donde:**

A = Leche natural 1000 g

B = Azúcar 77 g

C = Leche en polvo 11 g

D = Leche dosificada

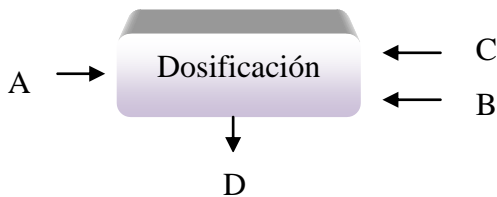
E = Impurezas 0,001 g

F = Leche sin impurezas  
 G = Semilla de chía 50 g  
 H = Leche enriquecida  
 I = Vapor  
 J = Leche pasteurizada 1037 g  
 K = Cultivo probiótico 0,20 g  
 L = Yogur natural  
 M = Esencia 0,8 g  
 N = Colorante 0,11 g  
 O = Yogur saborizado

#### 4.9.1.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE DOSIFICACIÓN

En la figura 4.29, se muestra el proceso de dosificación de la materia prima; para realizar el balance de materia, donde se tomó como base de cálculo 1000 g de leche de vaca entera.

**Figura 4.29**  
**Proceso de dosificación**



**Balance general de materia en el proceso de dosificación:**

$$D = A + B + C$$

$$D = 1000 + 77 + 11$$

$$D = 1088 \text{ g leche dosificada}$$

**Balance parcial de materia para sólidos en el proceso de dosificación:**

$$DX_D = AX_A + BX_B + CX_C$$

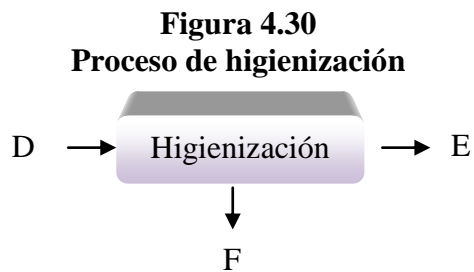
$$X_D = (AX_A + B + C) / D$$

$$X_D = (1000 (0,1) + 77 + 11) / 1088$$

$$X_D = 0,17 \text{ °Brix de la leche dosificada}$$

#### 4.9.2.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE HIGIENIZACIÓN

En la figura 4.30, se muestra el proceso de higienización de materia prima para realizar el balance de materia.



**Balance general de materia en el proceso de higienización:**

$$D = E + F$$

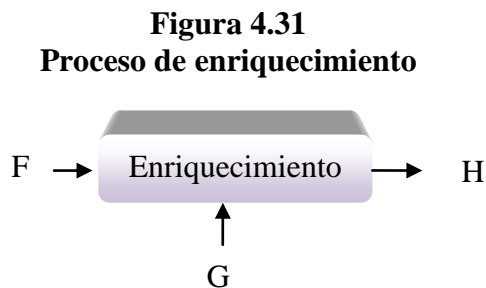
$$\text{Donde: } E = (D * 0,001)$$

$$F = 1088 - (1088 * 0,001)$$

$$F = 1087 \text{ g de leche sin impurezas}$$

#### 4.9.3.- BALANCE DE MATERIA EN EL ENRIQUECIMIENTO

En la figura 4.31, se muestra el proceso de enriquecimiento para realizar el balance de materia.



**Balance general de materia en el enriquecimiento:**

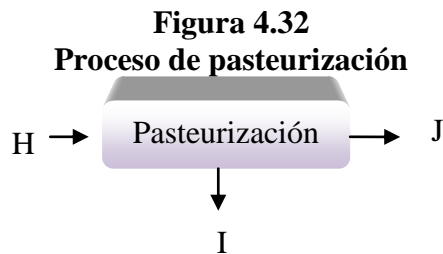
$$H = F + G$$

$$H = 1087 + 50$$

$$H = 1137 \text{ g de leche enriquecida}$$

**4.9.4.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN**

En la figura 4.32, se muestra el proceso de pasteurización para realizar el balance de materia.



**Balance general de materia en el proceso de pasteurización:**

$$H = I + J$$

$$I = H - J$$

$$I = 1137 - 1037$$

$$I = 100 \text{ g de vapor}$$

**Balance parcial de materia para sólidos en el proceso de pasteurización:**

$$HX_H = IX_I + J X_J$$

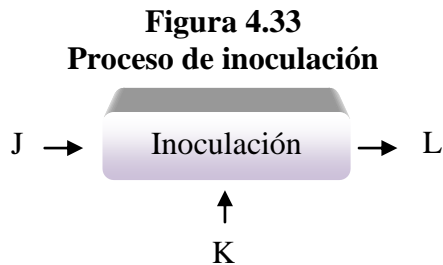
$$X_J = (H X_H) / J$$

$$X_I = (1137 (0,21) / 1037)$$

$$X_I = 0,23 \text{ °Brix de la leche pasteurizada}$$

#### 4.9.5.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE INOCULACIÓN

En la figura 4.33, se muestra el proceso de inoculación para realizar el balance de materia.



**Balance general de materia en el proceso de inoculación:**

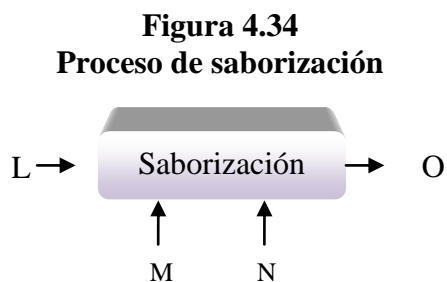
$$K + J = L$$

$$L = 1037 + 0,2$$

$$L = 1037,2 \text{ g de leche inoculada (yogur)}$$

#### 4.9.6.- BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SABORIZACIÓN

En la figura 4.34, se muestra el proceso de saborización para realizar el balance de materia.



**Balance global de materia en el proceso de saborización:**

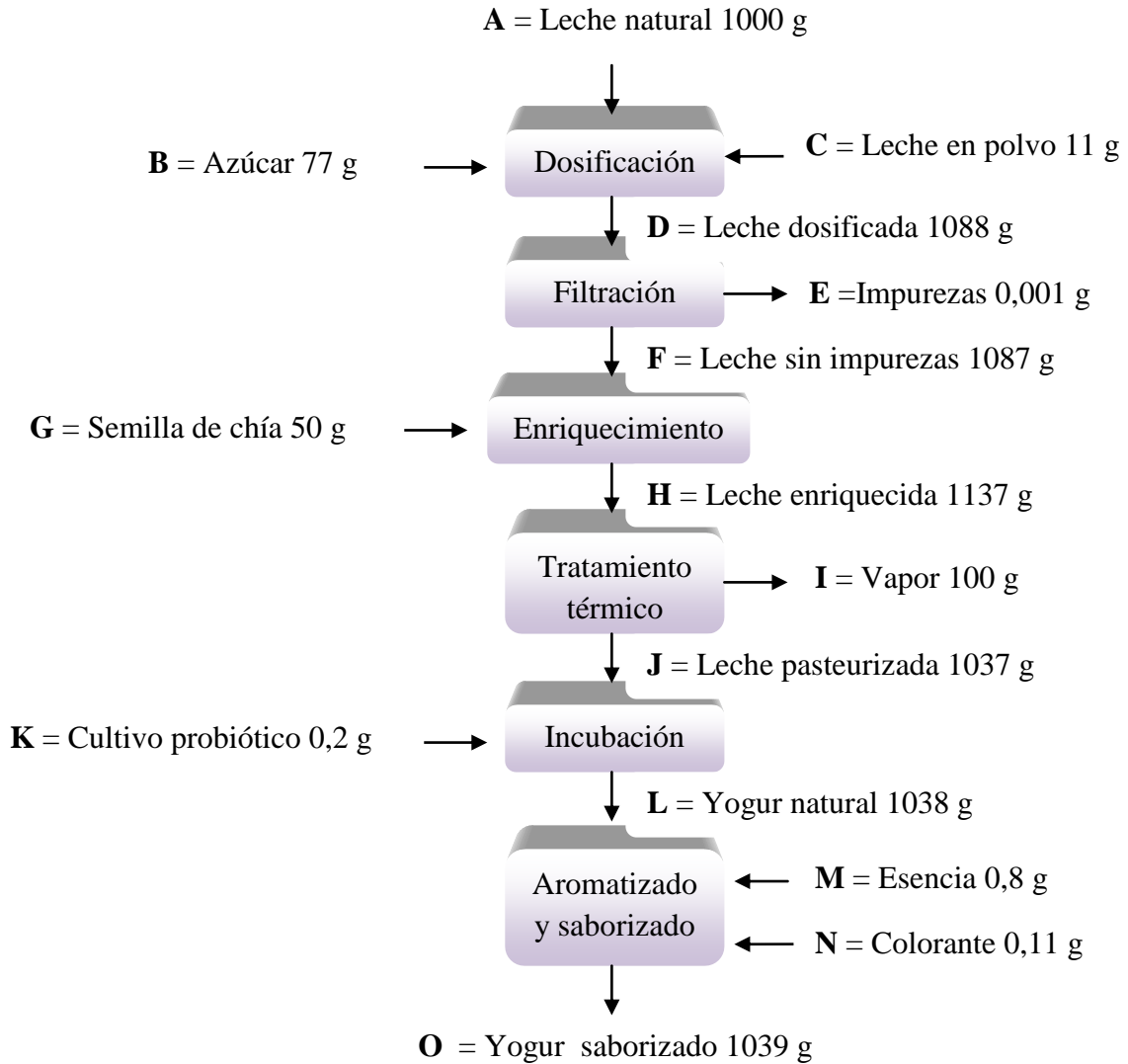
$$O = L + M + N$$

$$O = 1038 + 0,8 + 0,11$$

$$O = 1039 \text{ g de yogur saborizado}$$

En la figura 4.35, se muestra el resumen del balance de materia para la elaboración de yogur probiótico enriquecido con Omega-3.

**Figura 4.35**  
**Resumen del balance de materia del proceso de elaboración de yogur probiótico enriquecido con Omega-3**



#### 4.10.- BALANCE DE ENERGÍA

Para realizar el balance de energía del proceso de elaboración de yogur probiótico enriquecido con Omega-3, se tomó en cuenta el proceso de calentamiento del agua en el proceso de pasteurización de la leche y el proceso de fermentación de la leche.



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

Para realizar el balance de energía, se tomó en cuenta las siguientes ecuaciones (Barderas, 1994).

$$Q_T = Q_g + Q_c \quad (\text{Ecuación: 4.1})$$

$$Q_g = -Q_c + M\lambda \quad (\text{Ecuación: 4.2})$$

Donde:

$Q_T$  = Calor total

$Q_g$  = Calor ganado

$Q_c$  = Calor cedido

$M$  = Agua evaporada

$\lambda$  = Calor de vaporización

##### **4.10.1.1.- CANTIDAD DE CALOR PARA CALENTAR EL AGUA A 90°C**

De acuerdo a la ecuación 4.1, expresada por (Barderas, 1994), se determinó la cantidad de calor requerido para calentar el agua a 90°C en el proceso de pasteurización.

Donde:

$Q_1$  = Calor requerido para calentar el agua a 90°

$Q_{g1}$  = Calor ganado por el agua

$Q_{c1}$  = Calor cedido del acero inoxidable

$T_1$  = Temperatura inicial del agua 20 °C

$T_2$  = Temperatura final del agua 90 °C

$m_{H_2O}$  = Masa del agua 1,06 kg

$m_{olla}$  = Masa de la olla de acero inoxidable 0,90 kg

$C_{p_{acero}}$  = Calor específico del acero inoxidable 0,12 kcal/kg°C (Barderas, 1994).

$C_{p_{H_2O}}$  = Calor específico del agua a 20°C 0,99 kcal/kg°C (Barderas, 1994).

$$Q_1 = Q_{g1} + Q_{c1} \quad (\text{Ecuación: 4.3})$$

$$Q_1 = m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} (T_2 - T_1) + m_{\text{olla}} C_{p_{\text{acero}}} (T_2 - T_1)$$

$$Q_1 = 81,02 \text{ kcal}$$

La cantidad de calor requerido para calentar el agua a 90°C es de **81,02 kcal**

#### 4.10.1.2.-CANTIDAD DE CALOR PARA LA PASTEURIZACIÓN A 85°C

De acuerdo a la ecuación 4.2, expresada por (Barderas, 1994), se determinó la cantidad de calor requerido para pasteurizar la leche desde 20°C a 85°C.

Donde:

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

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

$Q_{c2}$  = Calor cedido por el agua

$C_{p_{H_2O}}$  = Calor específico del agua a 92°C 1,01 kcal/kg°C (Barderas, 1994).

$m_{H_2O}$  = Masa del agua 1,06 kg

$m_{\text{leche}}$  = Masa de la leche 1,137 kg

$M_A$  = Masa de agua evaporada 0,1 kg

$M_L$  = Masa de leche evaporada 0,1 kg

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

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

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

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

$C_{p_{\text{leche}}}$  = Capacidad calorífica de la leche 0,92 kcal/kg°C (Barderas, 1994).

$\lambda_{\text{agua } 92^\circ\text{C}}$  = Calor latente de vaporización del agua 727,85 kcal/kg°C (Barderas, 1994).

$\lambda_{\text{Leche}}$  = Calor latente de vaporización de la leche 289 kcal/kg°C (Hayes, 1987).

Calculando la cantidad de calor de pérdidas de la leche por efecto de la pasteurización para incrementar la temperatura de 20°C a 85°C, en base a la (Ecuación: 4.2) desarrollada, como ser:

$$Q_2 = Q_{g2} + M_L \lambda_{Leche} + Q_{c2} + M_A \lambda_{agua\ 92^\circ C} \quad (\text{Ecuación: 4.4})$$

$$Q_3 = (m_{leche} C_{p_{leche}} (T_{fL} - T_{iL}) + M_L \lambda_{Leche}) + (m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} (T_f - T_i) + M_A \lambda_{agua\ 92^\circ C})$$

$$Q_2 = [1,137 * 0,92(85-20)] + 0,1(289) + [1,06 * 1,01(85-90)] + 0,1(727,85)$$

$$Q_2 = 164,32 \text{ kcal}$$

La cantidad de calor necesario para pasteurizar la leche de 20°C hasta 85°C es de **164,32 kcal**.

#### 4.10.1.3.-CANTIDAD DE CALOR PARA TODO EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN

De acuerdo a los resultados anteriores se puede determinar la cantidad de calor necesario para todo el proceso de pasteurización en base a la (Ecuación: 4.1):

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$Q_T = 81,02 + 164,32$$

$$Q_T = 245,34 \text{ kcal}$$

Cantidad de calor requerido para todo el proceso de pasteurización es de **245,34 kcal**.

#### 4.10.2.-CANTIDAD DE ENERGÍA PARA EL PROCESO DE FERMENTACIÓN

Según (Barderas, 1994), la ecuación para determinar la energía potencial es:

$$E = P * t \quad (\text{Ecuación: 4.5})$$

$$E = 600 * 4$$

$$E = 2400 \text{ W/h}$$

Donde:

E = Energía para el proceso de fermentación

P = Potencia de la estufa 600 Wats

t = Tiempo de fermentación 4 h

La cantidad de energía requerida para el proceso de fermentación es de 2400 W/h, equivalente a 2064,97 kcal.

## 5.1.- CONCLUSIONES

- ✚ En cuanto a los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la leche pasteurizada, se tiene una acidez (ácido láctico) de 0,10%, fibra 1,67%, hidratos de carbono 13,50%, lactosa 12,61%, materia grasa 2,40%, proteína 2,94%, sólidos no grasos 19,10%. En el caso del análisis microbiológico, coliformes totales y fecales 0,00 NMP/ml, mohos y levaduras (0,00 ufc/g) y ausencia total de salmonella.
- ✚ De acuerdo a los resultados del análisis fisicoquímico de la semilla de chía, se tiene 15,57% de fibra, materia grasa 23,36% y humedad 6,10%. Referente a los resultados del análisis microbiológico, se tiene 0,00NMP/ml coliformes totales y fecales, mohos y levaduras  $2,2 \times 10^1$  ufc/g.
- ✚ En el proceso de dosificación final, se pudo constatar que la muestra de mayor aceptación por los jueces; para el atributo sabor y el atributo grado de dulzor, es la muestra C que contiene un 7,7% de azúcar y 1,1% de leche en polvo. Finalmente se puede decir que los factores de cantidad de azúcar y leche en polvo, no tienen una gran variación en cuanto al sabor y el grado de dulzor de la leche dosificada.
- ✚ De acuerdo a los resultados experimentales en el proceso de dosificación, se puede observar que el factor A (azúcar) y el factor B (leche en polvo), no existe evidencia estadística de variación en el proceso de dosificación para una  $p < 0,05$ ; en tal sentido, se puede decir que la variación de los factores de cantidad de azúcar y leche en polvo, no tienen influencia en el proceso de dosificación para determinar el grado de dulzor en la leche dosificada.
- ✚ Finalmente se seleccionó a la muestra de mayor aceptación por los jueces en el proceso de fermentación, que fue la muestra F que contiene una

concentración de cultivo probiótico del 0,02%, un tiempo de fermentación de 4,0 hrs y una temperatura de fermentación de 43°C.

- ✚ En las pruebas realizadas al yogur probiótico enriquecido con Omega-3 y al yogur de la U.A.J.M.S. se llegó a la conclusión que después de 15 días de almacenamiento a 4°C y en las mismas condiciones, el pH del yogur probiótico con Omega-3, no baja y se mantiene en un pH = 4,6, y el yogur de la U.A.J.M.S. baja de un pH= 4,6 a un pH = 4,4. Esto quiere decir que las bacterias ácidolácticas del yogur probiótico tienen una muy baja post acidificación. Es por eso que este yogur es apto para aquellas personas que no consumen el yogur tradicional por su elevada acidez.
- ✚ De acuerdo a las muestras de yogur probiótico con semillas de chía, con conservante (sorbato de potasio al 0,1%) y sin conservante, se observó que la muestra que no tenía conservante ya empezaba a despedir pequeños olores y sabores desagradables a los 15 días de almacenamiento, pero la acidez se mantenía; en cambio la muestra con conservante, no presentaba ninguna de estas características ya que recién a los 20 días presentaba pequeños cambios en el sabor y aroma. Donde se pudo constatar que el yogur probiótico enriquecido con Omega-3 sin conservante, tiene un tiempo de vida útil de 10 días como máximo, en cambio el yogur probiótico enriquecido con Omega-3 y conservante tiene un tiempo de vida útil de 20 días.
- ✚ De acuerdo a los resultados experimentales en la etapa de fermentación, se puede observar que el factor temperatura (T); es altamente significativo, el factor tiempo (t) y la interacción (tCCL) tiempo-concentración cultivo láctico son significativos. Así mismo, la interacción de los factores (Tt) temperatura-tiempo, (TCCL) temperatura-concentración de cultivo láctico, (tCCL) tiempo-concentración cultivo láctico y (TtCCL) temperatura-tiempo-concentración cultivo láctico; y no así el factor (CCL) concentración cultivo láctico para un

límite de confianza  $p < 0,05$ . En base a este análisis estadístico, se puede decir que los factores de temperatura y tiempo de fermentación son los que inciden directamente en el proceso de fermentación y no así la concentración de cultivo láctico.

- ✚ En el proceso de fermentación, se pudo evidenciar que no existe variación significativa en cuanto a la acidez de cada una de las muestras analizadas; solo se observa que a medida, que se incrementa el tiempo de fermentación, la acidez expresada en °Dornic aumenta. Resultando que los jueces percibieron una acidez agradable del 73,40 °Dornic para la muestra F, con mayor puntaje en escala hedónica y tiempo de fermentación de 4 horas.
- ✚ En el proceso de fermentación, se pudo evidenciar que no existe variación significativa en cuanto al valor de pH de cada una de las muestras analizadas; solo se observa que a medida que se incrementa el tiempo de fermentación, el pH disminuye. Resultando que los jueces percibieron un pH= 4,6 para la muestra F, con mayor puntaje en escala hedónica y tiempo de fermentación de 4 horas.
- ✚ En el proceso de saborización, se pudo evidenciar que la muestra MA (sabor frutilla) es la que tiene mayor aceptación por los jueces con un valor de 7,90, la muestra MC (sabor banana) con 7,80, la muestra MD (sabor coco) con 7,60 y la muestra MB (sabor durazno) con 6,70. Realizado la prueba estadística, se pudo observar que  $F_{cal} < F_{tab}$  ( $2,22 < 2,96$ ), lo que no existe evidencia estadística de variación entre las muestras; por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada para una  $p < 0,05$ ; quiere decir que cualquiera de las muestras puede ser elegida estadísticamente. Sin embargo, se tomó en cuenta la preferencia de los jueces por la muestra MA sabor frutilla, como la mejor opción en relación a las muestras MB sabor durazno, MC sabor banana y MD sabor coco.

- ✚ De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del producto, se tiene una acidez final de 0,95%, fibra 1,02%, hidratos de carbono 13,17%, materia grasa 2,88%, proteína total 3,72% y valor energético de 93,48 Kcal/100 g; en cuanto al análisis microbiológico del yogur probiótico con Omega-3, contiene  $(1,50 \times 10^2)$  ufc/g) de mohos y levaduras y (0,00 NMP/ml) de coliformes totales y fecales.

## 5.2.- RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda realizar pruebas de mastitis, sólidos solubles, y acidez en el proceso de recepción de la leche, con el fin de evitar problemas en la etapa de fermentación del proceso de elaboración de yogur probiótico enriquecido con Omega-3.
- ✚ Se recomienda elaborar un estudio a nivel de planta piloto, para la implementación de una planta procesadora de yogur probiótico enriquecido con Omega-3, con el fin de coadyuvar al desarrollo agroindustrial del departamento de Tarija.
- ✚ Se recomienda realizar estudios de eficacia y asimilación del yogur probiótico enriquecido con Omega-3, en niños de etapa escolar con la finalidad de poder evidenciar la calidad nutritiva y sus posibles aplicaciones en personas que sufren enfermedades cardiovasculares.