

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS EN LA ELABORACIÓN
DE UN PRODUCTO LÁCTEO FERMENTADO A BASE DE
LECHE DE CABRA (*Capra hircus*) Y VACA (*Bos taurus
taurus*) CON LA ADICIÓN DE CULTIVO PROBIÓTICO”**

TESIS

Presentada por :

Bach. YULIANA REYNA ALVARADO MAMANI

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TACNA - PERÚ

2010

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN TACNA
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Tomo N° II Folio N° 369-370

El jurado calificador nominado mediante Resolución Faculta-
tiva N° 3640-2010-FMIA, Integrada por:

<u>Dra. Gildiana Sanchez</u>	<u>Presidente</u>
<u>Dr. Miguel Barco</u>	<u>Miembro</u>
<u>Mgr. Rolando Cepedez</u>	<u>Miembro</u>
<u>Mgr. Luis Marin</u>	<u>Asesor</u>

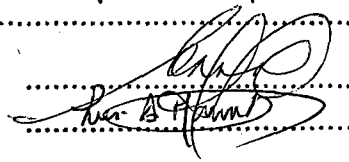
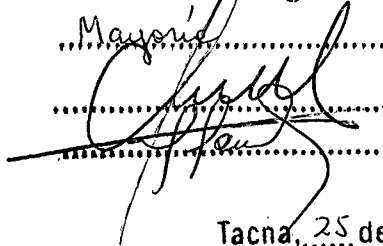
Para examinar el Trabajo de Tesis:

Determinación de Parámetros en la elaboración de
un producto lácteo fermentado a base de leche de cabra
(Capra hircus) y vaca (Bos taurus taurus) con la adición

presentada por: Bach. Yuliana Reyna Alvarado Mamani

Obteniendo el siguiente veredicto: Aprobado por

Mayoría



Tacna, 25 de octubre del 2010

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo cariño y amor a DIOS que me dio la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño a mis padres, Ancelma y Vicente, que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento, los quiero con todo mi corazón.

A mi hermana Noelia y mi tía Carmendina, por estar siempre conmigo apoyándome.

Y a mi gran amor de toda la vida, Felipe, por darme fuerza para no caer y estar conmigo en todo momento, dándome todo su amor.

AGRADECIMIENTOS

- A mi asesor de Tesis; MSc. Luis Alberto Marín Aliaga, por asesorarme y apoyarme en todos los momentos de realización de mi tesis.
- A todos mis profesores de la FAIA, por inculcarme conocimientos y ayudarme en mi carrera profesional.
- A todos mis amigos, muchas gracias por estar a mi lado en todo tiempo donde he vivido momentos felices y tristes.
- A mi amigo Juan Antonio, por estar siempre disponible para aclarar mis dudas e inseguridades, cuando fui universitaria y al realizar mi tesis.
- Al Sr. Jorge Talledo, por ser un amigo incondicional y prestarme siempre su ayuda.
- A la Sra. Tina Salcedo, por la ayuda y orientación que siempre me ha brindado.
- A la Srta. María Elena Ticoná, por el apoyo y orientación que me ha brindado.
- Y la Sra. Triana Torres, por su ayuda y orientación que siempre me ha brindado.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	01
I. INTRODUCCIÓN	03
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	06
2.1 Valor nutritivo de la leche de cabra y vaca	06
2.2 Producción y consumo de leche de cabra	08
2.2.1 Principales razas caprinas	10
2.2.2 Sistemas de producción de ganado caprino	12
2.2.3 Población y producción nacional de ganado caprino	13
2.3 Composición de la leche de cabra	14
2.3.1 Composición proteica	15
2.3.2 Composición en grasa	17
2.3.3 Composición en lactosa	20
2.3.4 Composición en minerales	21
2.4 Influencia del fermento láctico en la acidificación de la leche	22
2.5 Principios tecnológicos de la elaboración de una bebida láctea fermentada	24
2.5.1 Proceso de fermentación	24
2.6 Cultivos probióticos	26
2.6.1 Características de los cultivos probióticos	27

2.6.2	Efectos en la salud	28
2.7	Bebidas lácteas fermentada	29
2.7.1	Variaciones fisicoquímicas de las bebidas lácteas fermentadas	30
2.7.2	Propiedades Reológicas	35
2.7.3	Operaciones unitarias en la elaboración de una producto lácteo fermentado	37
2.7.4	Estandarización de la leche	38
2.7.5	Pasteurización	38
2.7.6	Enfriamiento	39
2.7.7	Siembra	39
2.7.8	Incubación	39
2.7.9	Enfriamiento	39
2.7.10	Batido	40
2.7.11	Envasado y almacenado	40
2.8	Evaluación Sensorial	42
2.8.1	Evaluación sensorial de los productos lácteos fermentados	43
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	44
3.1	Lugar de ejecución	44
3.2	Materia primas	45
3.2.1	Leche	45
3.2.2	Insumos	45
3.3	Materiales, equipos y maquinarias	47

3.3.1	El procesamiento del producto lácteo fermentado	47
3.3.2	En determinaciones analíticas	48
3.3.3	En el análisis sensorial	49
3.4	Muestras para el estudio	49
3.4.1	Recepción de la leche	52
3.4.2	Tratamiento térmico	53
3.4.3	Homogenización de la leche	54
3.4.4	Pre-enfriamiento	54
3.4.5	Adición de cultivo	55
3.4.6	Incubación	55
3.4.7	Refrigerado	57
3.4.8	Batido	57
3.4.9	Envasado	57
3.5	Diseño experimental	58
3.5.1	Variables Dependientes	59
3.5.2	Instrumentos de investigación	59
3.5.3	Procesamiento estadístico	61
3.6	Determinaciones analíticas	62
3.6.1	Análisis fisicoquímico de la leche de cabra	62
3.6.2	Análisis microbiológico de la leche de Cabra	62
3.6.3	Evaluación del producto terminado	63

3.6.3.1	Método afectivo, prueba hedónica	63
3.6.3.2	Análisis físico-químico y reológico del producto terminado	64
IV.	HIPÓTESIS E IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES	65
4.1	Formulación de la hipótesis	65
4.2	Identificación de variables e indicadores	65
4.2.1	Variables	65
4.2.2	Indicadores	66
V.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	67
5.1	Materia prima	67
5.1.1	Análisis fisicoquímico	67
5.1.2	Análisis microbiológico	68
5.2	Análisis estadístico y optimización	69
5.2.1	Análisis de los atributos sensoriales	70
5.2.1.1	Efecto en el olor	73
5.2.1.2	Efecto en el sabor	75
5.2.1.3	Efecto en la consistencia	77
5.2.2	Análisis de las características reológicas	80
5.2.2.1	Efecto en el coeficiente de consistencia (k)	84
5.2.2.2	Efecto en el índice reológico (n)	85
5.2.2.3	Efecto en la viscosidad aparente	87

5.2.3	Análisis de características fisicoquímicas	89
5.2.3.1	Efecto sobre la acidez	92
5.2.3.2	Efecto sobre el pH	94
5.2.4	Optimización	97
5.3	Producto final	104
5.3.1	Mezcla de materias primas	105
5.3.2	Diagrama de Flujo Definitivo	106
5.3.3	Mezcla optima fermentada	108
5.3.4	Composición Proximal	109
5.3.5	Análisis microbiológico	109
5.3.6	Balance de masa	110
VI.	CONCLUSIONES	112
VII.	RECOMENDACIONES	114
VIII.	BIBLIOGRAFÍA	115
	ANEXOS	120

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 01: Composición química de la leche de cabra y otras especies domésticas.	08
Cuadro N° 02: Población Nacional de Cabras 1993 – 2006.	13
Cuadro N° 03: Composición de la leche de cabra	15
Cuadro N° 04: Contenido de proteínas lácteas	16
Cuadro N° 05: Tipos de ácidos grasos en la leche de cabra	20
Cuadro N° 06: Composición de yogurt por 100 g de producto.	29
Cuadro N° 07: Variables Independientes y sus respectivos niveles de estudio para el proceso de optimización de la bebida fermentada según el diseño Box-Behnken.	59
Cuadro N°08: Condiciones Experimentales según diseño factorial Box Behnken para los niveles reales de las variables en estudio.	60
Cuadro N° 09: Análisis microbiológico	63
Cuadro N° 10: Características físicas y químicas de un producto lácteo fermentado.	66
Cuadro N° 11: Resultados de análisis fisicoquímico de la leche de cabra y vaca.	67
Cuadro N° 12: Resultados del análisis microbiológico a la leche de cabra y vaca.	69

Cuadro N° 13: Variables, niveles y ensayos de acuerdo con el diseño de Box Behnken, con sus respectivas respuestas de aceptabilidad sensorial	71
Cuadro N° 14: Variables, niveles y ensayos de acuerdo con el diseño de Box Behnken, con sus respectivas respuestas.	81
Cuadro N° 15: Variables, niveles y ensayos de acuerdo con el diseño de Box Behnken, con sus respectivas respuestas de pH y acidez.	90
Cuadro N° 16: Optimización numérica de los factores en estudio para el proceso elaboración de leche fermentada de cabra S1	98
Cuadro N° 17: Optimización numérica de los factores en estudio para el proceso elaboración de leche fermentada de cabra S2	100
Cuadro N° 18: Resultados de análisis fisicoquímico de la mezcla de leche de cabra y vaca.	105
Cuadro N° 19: Composición proximal del producto lácteo fermentado de mejores condiciones	107
Cuadro N° 20: Recuento microbiano del producto lácteo fermentado de mejores condiciones de elaboración	108
Cuadro N° 21: Balance de masa correspondiente al tratamiento óptimo en la elaboración producto lácteo fermentado	109

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 01: Cantidad de ganado caprino según las regiones naturales del Perú.	10
Figura N° 02: Esquema de degradación de la lactosa.	25
Figura N° 03: Cepas de <i>Lactobacillus acidophilus</i> y <i>Bifidobacterium bifidus</i>	28
Figura N° 04: Operaciones unitarias generales en la elaboración de un producto lácteo fermentado.	41
Figura N° 05: Cabras hembras en periodo de lactancia	44
Figura N° 06: Diagrama de flujo de la elaboración de la bebida láctea Fermentada.	50
Figura N° 07: Prueba de densidad de la leche de cabra	52
Figura N° 08: Tratamiento térmico de la leche de cabra y vaca.	53
Figura N° 09: Pre-enfriamiento de la leche de cabra.	55
Figura N° 10: Incubación del producto lácteo fermentado.	56
Figura N° 11: Diagrama de flujo de la elaboración de la bebida láctea fermentada.	58
Figura N° 12: Análisis de los efectos principales de las variables independientes sobre cada una de las variables respuestas, donde A: leche de cabra, B: cultivo probióticos, C: Tiempo	72

- Figura N° 13:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre el atributo **Olor** a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas. **75**
- Figura N° 14:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre el atributo **Sabor** a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas. **77**
- Figura N° 15:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y Tiempo de fermentación sobre la aceptabilidad del atributo **Consistencia** a nivel constante de concentración de cultivo de 2%. **79**
- Figura N° 16:** Análisis de los efectos principales de las variables independientes sobre cada una de las variables respuestas, donde A: leche de cabra, B: cultivo probiótico, C: Tiempo **82**
- Figura N° 17:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre el índice "**k**" a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas. **85**
- Figura N° 18:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre el índice "**n**" a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas. **86**

- Figura N° 19:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo probiótico sobre la viscosidad a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas. **87**
- Figura N° 20:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de cultivo y tiempo de incubación sobre el índice **(n)** a nivel constante concentración de leche de cabra de 50 %. **88**
- Figura N° 21:** Análisis de los efectos principales de las variables independientes sobre cada una de las variables respuestas, donde A: leche de cabra, B: cultivo probiótico, C: Tiempo. **91**
- Figura N° 22:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y concentración de cultivo sobre la **acidez** a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas. **93**
- Figura N° 23:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y concentración de cultivo probiótico sobre el **pH** a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas. **96**
- Figura N° 24:** Optimización por la metodología de la función deseada de la leche de cabra fermentada. Solución 1 **99**

- Figura N° 25:** Optimización por la metodología de la función deseada de la leche de cabra fermentada. Solución 2 **101**
- Figura N° 26:** Diagrama de Curvas de Nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre la función deseada (d) a nivel constante de tiempo óptimo de incubación de 6 horas. **103**
- Figura N° 27:** Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre la función deseada (d) a nivel constante de tiempo óptimo de incubación de 6 horas. **104**
- Figura N° 28:** Diagrama de flujo definitivo en la elaboración de producto lácteo fermentado a base de leche de cabra y vaca con adición cultivo probiótico. **107**
- Figura N° 29:** Producto lácteo fermentado elaborado a base de una mezcla de 25 % de leche de cabra y 75 % de vaca con adición de 2,3 % de cultivo probiótico VIBOLAC. **108**

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1:** Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta aceptabilidad del **olor**.
- Anexo 2:** Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta aceptabilidad del **sabor**.
- Anexo 3:** Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta aceptabilidad de la **consistencia**.
- Anexo 4:** Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta coeficiente de comportamiento reológico (**n**).
- Anexo 5:** Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta índice de consistencia (**k**).
- Anexo 6:** Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta **Viscosidad absoluta**.

Anexo 7: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta **pH**.

Anexo 8: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta **acidez total**.

Anexo 9: Hoja de evaluación de panel sensorial

RESUMEN

El presente trabajo propone una técnica de aprovechamiento de la leche de cabra mezclada con leche de vaca, para la elaboración de un producto lácteo fermentado. Se empleó la metodología de Superficie de Respuesta (MSR) con el modelo de Box-Benken para 3 factores y 15 tratamientos, se consideró 3 variables independientes: concentración de leche de cabra (25%, 50% y 75%); cultivo probiótico (1%; 2% y 3%) y tiempo de incubación (4, 5 y 6 horas). Una vez obtenido los resultados experimentales, se realizó un análisis individual para cada variable respuesta a fin de estudiar el efecto de las variables independientes en las variables respuesta y con el análisis de optimización de múltiples respuestas, se determinó los parámetros de elaboración con los siguientes resultados: Concentración de leche de cabra 25,0 %; concentración de cultivo probiótico 2,31 % y tiempo de fermentación 6,0 horas. Dichas condiciones dieron como resultado un producto final con una acidez de 0,94 % y un pH = 4,08. El análisis sensorial del producto final mostró un puntaje mayor de 7 (escala hedónica de 1 – 9): Olor 7,22; Sabor 7,86 y Consistencia 7,82 lo que confirma la buena aceptabilidad del producto optimizado. El análisis reológico indicó que tiene un comportamiento de fluido pseudoplástico con un índice reológico (n) 0,77 coeficiente de consistencia (k) 1,85 con una viscosidad aparente de 15111Cp. La composición proximal del producto final es el siguiente: Proteína 5,33 %; Grasa 1,30 %; Carbohidratos 12,75 %; Humedad 80,06 % y Minerales 0,56 %.

El análisis del recuento microbiológico dio como resultado lo siguiente:
Ausencia de Hongos y Levaduras y Coliformes (NMP) <3 UFC/ml. El
rendimiento del producto del producto final fue de 98,0 %.

I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio comprende la utilización de leche de cabra y de vaca debido a que la leche de cabra es de más fácil asimilación por el tamaño pequeño del glóbulo graso, así como a la menor intolerancia que puede originar su consumo respecto a la leche de vaca, tanto en lo que se refiere a la lactosa como a la proteína presente, ya que la leche de cabra contiene 1% menos de lactosa que la de vaca y en el caso de las proteínas, la leche de cabra contiene menos caseína del tipo alfa 1, que son las responsables de la mayoría de las alergias en la leche de vaca. En el Perú la producción de derivados lácteos es predominante de leche de ganado vacuno y en menor escala la producción de leche de cabra, por la limitada producción de leche de esta última comparativamente a la de vaca.

Por otro lado, los probióticos (*Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium lactis*) son cada vez más empleados en la industria. Su éxito radica en que suprimen la absorción de colesterol (Tahri, 1995), regulan la composición de microorganismos en el intestino, reducen la concentración de amonio y azoximetano (Gallaher, 1996), sintetizan folatos e inmunoglobulinas, vitamina B y K, así como reducen traslocaciones de *Escherichia coli* (Klinge, 1999).

En el presente trabajo se usaron las cepas de *Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus acidophilus* y *Streptococcus thermophilus* para producir leche fermentada utilizando como sustrato las leches de cabra y vaca, y se determinaron los parámetros del proceso; tiempo de fermentación, porcentaje de inóculo, y finalmente las características físico químicas, reológicas y sensoriales del producto final.

En la región de Moquegua existe ganado caprino que podría muy bien sumarse a la producción lechera de origen vacuno y así permitir el incremento en la elaboración de productos nuevos como leches fermentadas es por eso que para su elaboración se requiere de parámetros tecnológicos e implementar técnicas de fácil manejo. Por ello los objetivos del presente trabajo de investigación son:

- **Objetivos generales:**
 - Determinar los parámetros óptimos para la elaboración de un producto lácteo fermentado a base de leche de cabra y vaca con adición de cultivo probiótico.

- **Objetivos específicos:**

- Estudiar las propiedades fisicoquímicas pH y concentración de ácido láctico del producto lácteo fermentado.
- Evaluar los atributos sensoriales como aroma, sabor y consistencia en función a las variables independientes: concentración de leche de cabra, concentración de cultivo probiótico y tiempo de fermentación.
- Determinar los parámetros reológicos del producto de mejores condiciones y realizar los análisis microbiológicos del producto lácteo fermentado.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Valor nutritivo de la leche de cabra y vaca

Entre la leche de cabra y vaca existen importantes diferencias en los componentes de las grasas (lípidos) y las proteínas. La leche de cabra tiene una mayor proporción en ácidos grasos de cadenas cortas (ácidos cáprico, caproico y caprílico) que la de vaca, lo que la hace mucho más digestible y le comunica un sabor particular, otras propiedades de las grasas de la leche de cabra es que los glóbulos grasos son más pequeños que los de vaca, siendo éste otro factor que aumenta la digestibilidad de tan importante componente (Arbiza, 1996).

También existen diferencias muy importantes en la composición de las distintas proteínas, según sea la leche que se considere. La principal de estas diferencias consiste principalmente en las caseínas (más de 80%), el principal componente nitrogenado de todas las leches. La leche de cabra proporciona más aminoácidos esenciales que la de vaca o la humana (Velazco, 2010)

La leche de cabra contiene niveles más altos de vitaminas del grupo B, que la leche de vaca, especialmente de riboflavina, con la salvedad de

que las concentraciones de vitaminas B₆ y B₁₂ son más bajas (Jauber y Kalantzopoulos, 1996).

En cuanto a la concentración de folato en la leche de cabra, (Donnelly-Vanderloo, 1994) mostraron que es usualmente baja (21,9 nmol/litro) vs, al existente en la de vaca (142,8 nmol/litro) o frente a la leche humana (113,7 nmol/litro), aunque la de cabra contiene folato unido a proteínas (12 µg/ml), lo cual hace que se detecte un menor contenido en este nutriente que el que aparece en la leche de vaca (Chandan y col. 1992), así como que el folato de la leche de cabra no se ve afectado por la pasteurización, cosa que si sucede en la leche de vaca (Donnelly-Vanderloo, 1994). Una característica importante de la leche de cabra es su elevado contenido en vitamina A.

En general los contenidos en calcio, sodio, cloro, magnesio, fósforo, manganeso, hierro, selenio, zinc, vitaminas A y D y ácido nicotínico (vit. B₃), son más elevados en la leche de cabra frente a la de vaca (Arbiza, 1986; Saraswat y Kumar, 1992), aunque como señala (O'Connor, 1994), los niños que se crían sólo con leche de cabra se la debe suplementar especialmente con ácido fólico, al objeto de que no desarrollen una anemia megalobástica, dada la escasa presencia del mencionado nutriente en dicha leche en comparación con la de la mujer. La energía

que proporciona la leche de cabra a través de sus grasas y de la lactosa es de aproximadamente 60 a 75 kcal por 100 gramos (Santos, 1996).

En el cuadro N° 01, se observa la composición química de la leche de cabra y otras especies domésticas.

Cuadro N° 01: Composición química de la leche de cabra y otras especies domésticas.

Especie	Sólidos Totales (%)	Materia Grasa (%)	Proteína Total (%)	Caseína (%)	Lactosa (%)	Cenizas (%)
Vaca	12,4	3,8	3,6	3,1	4,6	0,8
Oveja	18,2	7,3	5,5	4,5	4,8	0,9
Cabra	13,0	4,3	3,6	2,9	4,3	0,8

Fuente: Illescas, 2001

2.2 Producción y consumo de leche de cabra

Desde tiempos remotos la cabra (*Capra hircus*), fue uno de los principales mamíferos domesticados por el hombre y ha estado ligada a él desde los albores de la civilización, proveyéndole de carne, leche, fibra y pieles (Arroyo, 1998).

La producción de cabras en el Perú es una actividad asociada a productores de bajos niveles de ingresos que aprovecha principalmente recursos marginales como los residuos de cosecha, pastos naturales y

especies arbustivas, por lo que es considerada como una fuente barata de proteína animal (Arroyo, 1998).

La población de ganado caprino llegó a 2 004 374 cabezas en el año 2001, encontrándose distribuida en mayor proporción en la región de la Sierra (68%) y Costa (31%), siendo escasa en la Selva (1%) (Arroyo, 1998).

La producción de carne de caprino siguió una tendencia decreciente en los últimos cinco años, llegando a 6466,9 TM en el año 2001. No existen estadísticas oficiales para la producción de leche caprina, sin embargo se estima una producción anual de 18800 TM (MINAG-OIA, 2001).

Los principales departamentos con mayor población de caprinos son Piura, Ayacucho, Lima, Huancavelica e Ica, representando a más del 55% del total nacional (MINAG-OIA, 2001).

En la figura N° 01, se observa la cantidad de ganado caprino según las regiones naturales del Perú.

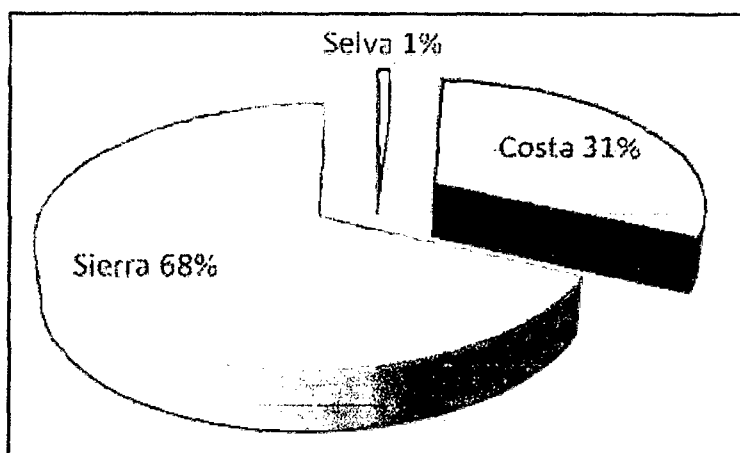


Figura N° 01: Cantidad de ganado caprino según las regiones naturales del Perú.

Fuente: MINAG-OIA, 2001.

2.2.1 Principales razas caprinas

La raza caprina predominante en el país es el denominado criollo, sin embargo en los últimos años se han introducido diferentes razas de aptitud carnicera y de doble propósito (Arroyo, 1998).

- **Criollo:** Es un animal derivado de los caprinos introducidos por los españoles en la época de la conquista y colonia. Es rústico, se adapta a una amplia gama de ambientes pero es de bajo nivel productivo. Alcanza un peso vivo adulto promedio de 30 kg en

hembras y 40 kg. en machos y una producción de leche de 80 Kg por lactación (Arroyo, 1998).

- **Nubian:** Originaria del Valle del Nilo, Egipto. Se adapta a condiciones de aridez. Es una de las de mayor peso vivo, los machos pueden pesar 76 kg y las hembras 64 kg de peso vivo. Presenta orejas largas y caídas, de perfil característico, con nariz convexa (Arroyo, 1998).
- **Anglonubian:** Es de aptitud lechera. Con buen manejo puede producir entre 600 a 700 kilos de leche por lactación y con un alto porcentaje de materia grasa (4,5%). La cabeza es distintiva, las orejas son largas, anchas y oscilantes y su color de piel fluctúa desde el negro hasta el blanco con tonos rojizos (Arroyo, 1998).
- **Toggenberg:** Es una de las más antiguas y considerada con aptitud al doble propósito (Leche y carne). Produce leche con bajo contenido de grasa, llegando a producir 675 a 725 kilos de leche por campaña. Se caracteriza, por tener una carnosidad que les cuelga a cada lado del cuello y comúnmente tienen barba (Arroyo, 1998).
- **Saanen:** Es de origen Suizo. Se caracteriza por ser especializada en la producción de leche. En condiciones de zonas templadas y buen manejo, el promedio de lactación se encuentra entre los 880 a 900 kilos de leche en un periodo de 275 a 300 días de producción (Arroyo, 1998).

2.2.2 Sistemas de producción de ganado caprino

En la crianza nacional de caprinos predominan los sistemas de producción extensivos, siendo muy escasas las unidades semi-intensivas e intensivas.

En la Costa, predominan los sistemas de producción extensivos, este tipo de crianza se realiza dentro de grandes áreas de terrenos propios o comunales, en donde los productores trasladan de un lugar a otro, en busca de alimentos para sus animales. En la zona Norte, se pastorea en la vegetación del bosque seco tropical y se aprovecha los residuos de cosecha, en las áreas cercanas a la agricultura intensiva y en la zona Centro y Sur se aprovecha adicionalmente la vegetación de las lomas (Arroyo, 1998).

En la Sierra, también predominan los sistemas extensivos, en zonas cálidas como en Ayacucho, su alimentación es al pastoreo, mientras que en los valles interandinos se combina con los residuos de cosecha y otras malezas. Predomina una mayor carga sobre la vegetación arbustiva y espinosa de las laderas en las quebradas interandinas (Arroyo, 1998).

2.2.3 Población y producción nacional de ganado caprino

La población de ganado caprino en el país ha tenido un ligero descenso desde el año 2000, y se mantiene estable alrededor de 1'950,000 animales. Su distribución nacional se halla en mayor proporción en la región Sierra (68%) y Costa (31%), siendo escasa en la Selva (1%) (MINAG-OIA, 2001). En el cuadro N° 02, se observa la población nacional de cabras entre los años 1993 a 2006.

Cuadro N° 02: Población Nacional de Cabras 1993 – 2006.

AÑO	CABEZAS
1993	1783100
1994	1789670
1995	2043880
1996	2022930
1997	2047720
1998	2019440
1999	2068260
2000	2045115
2001	2024055
2002	1970734
2003	1984275
2004	1959345
2005	1957087
2006	1942794

Fuente: MINAG (2006)

La mayor parte de los caprinos del país se encuentran en crianza extensiva y posee índices productivos realmente bajos. A pesar de ello la explotación caprina nacional produce anualmente más de 6 600 TM de carne, 2 300 TM de menudencias. Además producen 787 000 TM de estiércol fresco que es usado por la agricultura pudiendo generar más de 600 000 pieles que son usadas en curtiembre y artesanía (MINAG 2006).

La producción de carne caprina en los años 2006 superó las 6000 TM, siendo el principal departamento productor el de Piura con 1664 toneladas. No existen estadísticas oficiales para la producción de leche caprina, sin embargo se estima una producción anual de 18 800 TM (MINAG 2006).

2.3 Composición de la leche de cabra

Similar a la leche de otras especies hembras de mamíferos, la leche de cabra está mayoritariamente compuesta por agua (85 a 88 por ciento) y además de cantidades apreciadas de grasa, proteína, lactosa, sales minerales, vitaminas y otras sustancias en cantidades menores (Júarez, 1986).

En el cuadro N° 03, se observa la composición de leche de cabra.

Cuadro N° 03: Composición de la leche de cabra

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE
Agua (ml.)	87,5
Calorías (Kcal.)	65,0
Carbohidratos (g)	4,4
Proteínas	3,4
Grasa (g)	4,81
Calcio (mg)	120,0
B2 (mg)	0,15
Vitamina A (mg)	40,0
Vitamina D (mg)	0,06

Fuente: Vega y León, 2005.

2.3.1 Composición proteica

La leche de cabra contiene alrededor de 5,2 gramos de nitrógeno por kilogramo, que se convierten en 3,4 g de proteína. Las proteínas mayoritarias de la leche de cabra, al igual que sucede en la de vaca, son las caseínas que se caracterizan porque precipitan a pH 4,6; las proteínas que permanecen en solución a dicho pH son las del lactosuero, formadas por α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina, albúmina, inmunoglobulinas, péptidos y otras proteínas menores, algunas con carácter enzimático. Como componentes de la

proteína láctea existen seis productos genéticos de la glándula mamaria de carácter mayoritario: α_{s1} -caseína, α_{s2} -caseína, β -caseína, κ -caseína, β -lactoglobulinas y α -lactoalbúminas (Swaisgood, 1993).

En el fraccionamiento de las caseínas y en las proteínas del lactosuero se aprecian importantes diferencias con respecto a la leche de vaca, como se muestran en el siguiente cuadro N° 04:

Cuadro N° 04: contenido de las proteínas lácteas

Proteína	Cabra (%)	Vaca (%)
α_{s1} -caseína	--	30,6
α_{s2} -caseína	23,5*	8,0
β -caseína	45,0	28,4
κ -caseína	5,6	10,1
β -lactoglobulina	15,5	9,8
α -lactoalbúmina	7,1	3,7
albúmina sérica	3,4	1,2
inmunoglobulinas	--	2,1

Fuente: Boza, 1992.

*El valor engloba las dos fracciones α_s -caseína

(Chandan y colaboradores 1992), muestran que la leche de cabra contiene relativamente mayores niveles de α_{s2} -caseína que la leche de vaca, pero el total de sus caseínas $\alpha_{s1} + \alpha_{s2}$, es menor

que la fracción α_{s1} -caseína de la leche de vaca, indicándonos que estas diferencias pueden explicar las propiedades de formación de precipitado de la leche de cabra durante los procesos digestivos, sus características reológicas durante la fabricación de queso, así como su peculiar textura de las leches fermentadas. (Mora-Gutierrez y colaboradores 1991), pusieron de manifiesto que en la leche de cabra el nivel de la α_{s1} -caseína es muy variable, dando un valor medio de 2,7g/litro, indicando que la expresión de la α_{s1} -caseína pudiera estar regulada genéticamente, existiendo una alta proporción de cabras que producen leche con bajo contenido en dicha fracción, como sucede con la Alpina-francesa.

2.3.2 Composición en grasa

El porcentaje en grasa de la leche de cabra (4,81), suele ser superior al de la vaca (3,38), existiendo grandes diferencias en relación a esta, en lo que concierne a la estructura física y perfil químico de la grasa. El tamaño de la micela o glóbulo graso de la leche de cabra es por término medio de 3,5 μ con un alto porcentaje de glóbulos con diámetros de 1,5 a 3 μ , considerablemente inferior a los que presenta la leche de vaca (4,5 μ). Este menor tamaño de los glóbulos de grasa de la leche de cabra, le proporcionan una

emulsión fina y más uniforme, lo cual influye favorablemente en su digestibilidad (Stark, 1988).

Recientemente Heanenlein (1992) manifestó, que la principal diferencia existente entre la leche de cabra y la de vaca es la grasa, y no sólo por el pequeño tamaño de las micelas que la forman, sino más bien debido a la naturaleza de los ácidos grasos que la constituyen. En efecto, los componentes de la grasa de la leche de cabra, difieren de los de la vaca en razón de la longitud de su cadena y número de dobles enlaces, aspectos de particular importancia tanto desde el punto de vista nutritivo como de la salud.

La leche de cabra tiene normalmente un 35% de ácidos grasos de cadena media (C6-C14), alcanzando la de vaca sólo el 17%. Es por esto por lo que los ácidos grasos caproico (C6:0), caprílico (C8:0) y cáprico (C10:0), toman su nombre concretamente de la leche en donde mayormente aparecen, alcanzando estos tres ácidos en la leche de cabra un 15% de los mismos, valor que sólo llega al 5% en la vaca. Estos ácidos grasos de cadena media presentan un interés muy particular desde incluso un punto de vista terapéutico, a causa de su utilidad en ciertas enfermedades metabólicas.

Los ácidos grasos de cadena media se caracterizan por seguir una vía metabólica y fisiológica distinta de los de cadena larga, ya

que los ácidos grasos libres derivados de la hidrólisis de los ácidos grasos de cadena media, son capaces de ser absorbidos sin reesterificación en las células intestinales, entrando directamente en la vena Porta y transportados al hígado y tejidos periféricos, fijados a proteínas o como ácidos grasos libres. Su bajo peso molecular y la hidrosolubilidad de los ácidos grasos de cadena media, facilita la acción de los enzimas digestivos, haciendo que la hidrólisis sea más rápida y completa que la de los ácidos grasos de cadena larga y, a diferencia de la de estos, la digestión de los grasos de cadena media comienza a producirse en el estómago, ya que la lipasa gástrica, prácticamente sin acción sobre los ácidos grasos de cadena larga, inicia la hidrólisis de los ácidos grasos de cadena media, que será completada por la lipasa pancreática a un ritmo cinco veces superior a la hidrólisis de los ácidos grasos de cadena larga (García Unciti, 1996).

En cuanto al colesterol, su contenido en la leche de cabra esta dentro del rango de 10-20 mg/100 ml, conteniendo el calostro el doble de ese valor (Jennsess, 1980).

En el cuadro N° 05 se observa los tipos de ácidos grasos que contiene la leche de cabra.

Cuadro N° 05: Tipos de ácidos grasos en la leche de cabra

ÁCIDOS GRASOS	HUMANA	VACA	CABRA
Saturados:			
Butírico	0,4	3,1	2,6
Caproico	0,1	1,0	2,3
Caprílico	0,3	1,2	2,7
Cáprico	0,3	1,2	2,7
Láurico	5,8	2,2	4,5
Mirístico	8,6	10,5	11,1
Palmítico	22,6	26,3	28,9
Esteárico	7,7	13,2	7,8
Araquidónico	1,0	1,2	0,4
Insaturados:			
Oleico	36,4	32,3	27,0
Linoleico	8,3	1,6	2,6
Linolénico	0,4	--	--
C ₂₂₋₂₀	4,2	1,0	0,4

Fuente: Vega y León, 2005.

2.3.3 Composición en lactosa

El hidrato de carbono característico de la leche es la lactosa, es un azúcar con poder edulcorante bajo. La lactosa debido a la acción enzimática bacteriana sufre fermentaciones diferentes, con

productos como ácido láctico, anhídrido carbónico, alcohol, ácidos propiónico y butírico y otros compuestos, que ocasionan la coagulación de la leche, que en el caso de queso, le conferirán parte de su aroma y sabor. El contenido de lactosa de la leche de cabra es parecido al de leche bovina fluctuando entre 44 a 47 g/l, y depende del estado de lactación de los animales (Juárez, Ramos y Martín-Hernández, 1991).

2.3.4 Composición en minerales

La leche de cabra y la leche de vaca es semejante pero la leche de cabra contiene 13 % más calcio, 47 % más vitamina A (responsable de su coloración más blanca), 134 % más potasio, y tres veces más ácido nicotínico. Es también cuatro veces más alta en cobre. La leche de la cabra contiene también 27 % más de selenio. Sin embargo, la leche de la vaca contiene cinco veces más de vitamina B-12 respecto a la leche de cabra y diez veces más de ácido fólico (12 mcg. en la leche de vaca contra menos de 1 mcg para la leche de cabra en 300 ml para cubrir unas necesidades diarias de 75-100 mcg en los niños) (Devendra y McLeroy, 1986).

2.4 Influencia del fermento láctico en la acidificación de la leche

Las leches fermentadas en general, resultan del desarrollo de microorganismos benéficos que modifican los componentes de la leche; como la coagulación y disminución del pH por fermentación láctica de uno o varios de los siguientes cultivos: *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium spp*, *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* y/u otras bacterias ácido lácticas que por su actividad, contribuyen a la obtención de las características del producto final (Veisseyre, Roger, 1986).

También la acidificación de la leche de cabra varía de acuerdo a la composición de la leche, al momento de lactación, al tratamiento térmico y al tiempo de refrigerado de leche.

- o **Respecto a la composición de la leche:** La producción de ácido y la bajada de pH no siempre son proporcionales. Las leches ricas en proteínas y minerales tienen un poder tampón elevado, lo que favorece al crecimiento de los fermentos lácticos. En las leches de fuerte acidificación se observa un mayor desarrollo de flora láctica, así como las que tienen poca bajada de pH poseen un nivel de caseína mayor que el de las que tienen una caída de pH fuerte. En general el aumento de contenido de caseína y en consecuencia la

mineralización de la leche, incrementa el poder tampón en la leche lo que hace que la caída de pH sea inferior (Masle, Morgan-2001).

- o **Respecto al momento de lactación:** Al inicio y mitad de la caída de la misma, las leches se caracterizan por una capacidad de acidificación baja y por una fuerte variación en el pH, mientras que al final ocurre lo contrario (Masle, Morgan-2001).

- o **Respecto al tratamiento térmico:** Este provoca una caída en el pH inicial de la leche, respecto a la leche cruda, que puede estar motivado por una transferencia parcial e irreversible de calcio y fosfatos de la fase soluble a la coloidal. Este efecto se incrementa cuando los tratamientos son más fuertes. El calentamiento puede provocar la destrucción de inhibidores de crecimiento bacteriano y la liberación de factores de crecimiento que favorecen la actividad de los fermentos.

- o **Respectos al tiempo de refrigerado:** No afecta la aptitud a la acidificación, pero debido a la formación de ácidos grasos por lipólisis de la grasa, provocada por siccótrofos, podría darse el caso de cierta inhibición de la actividad del fermento, como se ha demostrado para la leche de vaca (Masle, Morgan-2001).

2.5 Principios tecnológicos de la elaboración de una bebida láctea fermentada

2.5.1 Proceso de fermentación

La fermentación de la lactosa constituye un hecho esencial en la elaboración del yogurt y de las bebidas lácteas fermentadas. El ácido láctico y productos secundarios afectan profundamente las características organolépticas del producto. Aún más, la fermentación del ácido láctico modifica favorablemente el valor nutritivo-fisiológico de la bebida láctea. Las bacterias utilizan la lactosa como principal fuente de energía, ésta no es empleada directamente, sino previamente degradada en glucosa y galactosa por la enzima lactasa. Debido a que la lactasa es una endoenzima, ésta debe penetrar en la célula para poder ser degradada. La glucosa es transformada en ácido láctico por varias enzimas bacterianas a través de una serie de reacciones que ocurren en distintas etapas, las cuales son representadas generalmente por la vía metabólica de Meyerhof-Embden (Alais, 1985).

La galactosa no es utilizada directamente, siendo convertida previamente en glucosa por la acción de la enzima galactovaldenasa. La conversión de galactosa en glucosa no obedece a una reacción cuantitativa. Además, la galactosa es

utilizada con más dificultad por las bacterias lácticas, siendo aparentemente ésta la razón de su mayor proporción frente a la glucosa en el producto (Javerbeck y Jofre, 1980).

La vía metabólica utilizada por las bacterias homofermentativas probablemente corresponda a la de Meyerhof-Embden. Sin embargo, algunas condiciones de incubación, tales como pH del medio y temperatura, pueden resultar en ligeros desvíos de esta ruta, lo que se manifiesta especialmente en la formación de productos secundarios. Las bacterias homofermentativas producen alrededor de un 85-98% de ácido láctico a partir de la lactosa utilizada y pequeñas cantidades de productos secundarios (Javerbeck y Jofre, 1980). En la figura N° 02 se presenta la degradación de la lactosa por las bacterias probióticas.

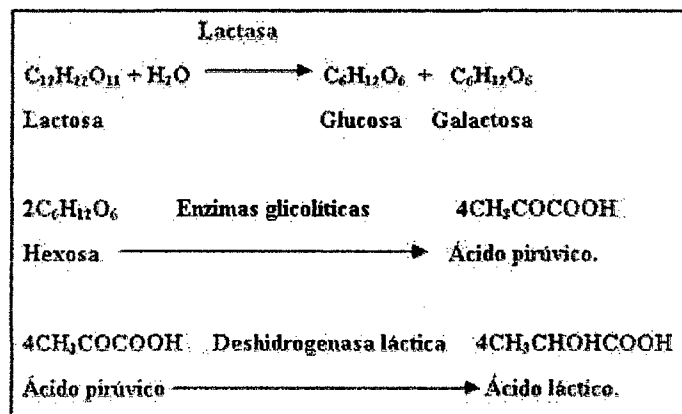


Figura N° 02: Esquema de degradación de la lactosa.

Fuente: (Javerbeck y Jofre, 1980).

El ácido láctico formado puede diferir en su configuración estructural y actividad óptica. Dependiendo de la constitución enzimática de las bacterias lácticas, ellas producen L (+) ácido láctico, o D (-) ácido láctico o DL- ácido láctico.

2.6 Cultivos probióticos

Son microorganismos vivos que se adicionan a un alimento que permanecen activos en el intestino y ejercen importantes efectos fisiológicos. Ingeridos en cantidades suficientes tienen efecto muy beneficioso, como contribuir al equilibrio de la flora bacteriana intestinal del huésped y potenciar el sistema inmunológico. Son capaces de atravesar el tubo digestivo, recuperarse vivos en las heces y adherirse a la mucosa intestinal. No son patógenos, excepto en casos en que se suministran a individuos inmunodeficientes. Contienen esta clase de microorganismos y, por tanto, son alimentos probióticos los yogures frescos, otras leches fermentadas, el kéfir, jocoque, etc.

De acuerdo a la Organización Mundial para la Salud (OMS o WHO) la definición de Probiótico: "Son microorganismos vivos que cuando son suministrados en cantidades adecuadas promueven beneficios en la salud del organismo huésped".

2.6.1 Características de los cultivos probióticos

Existen diversas comercializaciones farmacéuticas de algunos alimentos probióticos: en forma de píldoras o cápsulas, aunque muchos alimentos podrían ser utilizados como vehículos de los alimentos probióticos: un ejemplo de ello son las leches fermentadas (yogur, batidos, etc.) que han sido utilizadas como la principal vía de administración de alimentos probióticos, y las bacterias más usadas y estudiadas son bacterias lácticas, microorganismos estrechamente ligados a los productos lácteos. De todas maneras sólo algunas especies de bacterias lácticas y otras que no lo son entran en la categoría de probiótico, dado que entre otras exigencias el microorganismo debe superar vivo y con un recuento importante las barreras que le opone el sistema digestivo.

Dentro de estas especies están algunas cepas de *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Bifidobacterium bifidus*, *Bifidobacterium longum*, etc.

En las figura N° 03 se puede apreciar las cepas de *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium bifidus*.

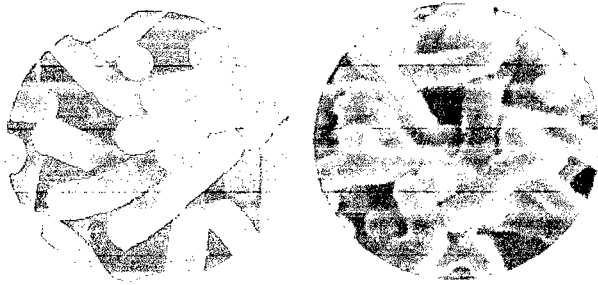


Figura N° 03: Cepas de *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium bifidus*.

Fuente: www.probiotics.com (2009)

2.6.2 Efectos en la salud

Uno de los beneficios de los alimentos probióticos es la mejora del balance de la flora intestinal, donde se encuentra la mayoría de las defensas del cuerpo, ayudando a mejorar los síntomas y problemas como la astenia, problema de defensas, períodos de lactancia y reforzar el sistema inmunológico. Los alimentos denominados probióticos son cultivos simples o mezclados de estos microorganismos: las bacterias probióticas, las cuales al ser consumidos tanto por humanos como por animales, sobreviven al paso por el tracto gastrointestinal y se implantan en el colon o intestino delgado afectando favorablemente al huésped en términos

de mejora de salud. Los lácteos probióticos afectan menos a las personas con intolerancia a la lactosa.

2.7 Bebidas lácteas fermentada

Se entiende por "bebida láctea fermentada" al producto obtenido a partir de leche, leche reconstituida y/o derivados lácteos, fermentada, con o sin adición de otros ingredientes, sin presencia de microorganismos viables en el producto final, donde la base láctea representa a lo menos el 51% del total de ingredientes del producto" (Ministerio de Agricultura Pecuaria y Abastecimiento, 2000).

Cuadro N° 06: Composición de yogurt por 100 g de producto.

Componentes	Contenido
Kilocalorías	50,0g
Lípidos	1,70 g
Proteínas	3,40 g
Azúcares	5,20 g
Agua	89,0 g
Calcio	120 mg
Sodio	51 mg
Fósforo	94 mg
Hierro	Trazas
Potasio	143 mg

Fuente: Kosikowski, 1977.

2.7.1 Variaciones fisicoquímicas de las bebidas lácteas fermentadas:

a) Viscosidad:

La leche es mucho más viscosa que el agua. Esta mayor viscosidad se debe, por completo a la materia grasa en estado globular y las macro moléculas proteicas, la viscosidad disminuye con la elevación de la temperatura. Toda modificación que actúa en las grasas o las proteínas tendrá un efecto particular en la viscosidad. La homogenización eleva la viscosidad de la leche, así como los factores que producen variaciones en el estado de hidratación de las proteínas (coagulación del agua ligada) también son causas de los cambios de viscosidad. La contaminación de ciertos microbios aumenta la viscosidad de la leche especialmente los *streptococcus* lácticos de la llamada "Leche filante".

Algunas especies de bacterias lácticas producen tal cantidad de polisacáridos que aumentan considerablemente la viscosidad de la leche fermentada. La coagulación por acidificación para la preparación de leche ácida, se logra mediante el agregado de inhibidores a la leche, es decir, inoculándolas con cultivos de bacterias lácticas; estos microorganismo transforman la lactosa en ácido láctico cuando el pH se acerca a su valor isoelectrico aumenta la viscosidad, por

lo que se obtiene fácilmente productos más espesos, con textura de gel, tal como el yogurt las condiciones necesarias para la formación del gel, establece un delicado balance en la precipitación.

Dentro de los factores que afectan la viscosidad del yogurt están los siguientes:

- Contenido de grasa.
- Temperatura de incubación a mayor temperatura la viscosidad disminuye.
- Velocidad de enfriamiento.
- Por efecto de calentamiento.
- Por efecto de la contaminación de sólidos en la leche.

Los cambios en la viscosidad del yogurt, depende de una serie de factores propios de las proteínas tales como el tamaño molecular, forma, carga superficial, tipo de las proteínas, concentración, solubilidad y capacidad de retención de agua, y estas a su vez, están influenciados por los factores del medio ya mencionados; otro factor importante es el calcio que queda retenido en las caseínas, cuya proporción con la superficie micelar influye en la formación del gel.

b) pH

El valor de pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia (es la medida de la concentración de iones de hidrógeno presentes). Los valores de pH se representan en una escala que va del 1 al 14, donde el valor de 7, es para un producto neutro como el agua, por arriba de este valor son productos básicos y por debajo son ácidos, como es el caso del yogurt.

En un alimento el pH se determina por el balance entre las sustancias ácidas en el mismo y la capacidad del buffer. De acuerdo al pH, los alimentos se clasifican en cuatro grupos:

- Los de acidez alta ($\text{pH} < 3,7$)
- Los ácidos ($\text{pH} < 4,6$)
- Los de acidez intermedia ($4,6 < \text{pH} < 5,3$)
- Los de acidez baja ($\text{pH} > 5,3$) (Flores, 1980).

La leche tiene un valor de pH entre 6,5 y 6,7 (Tamime y Robinson, 1991). Los valores de pH de un yogurt están en un rango de 4,0 a 4,5 (Teuber, 1995), pero Oberman (1985) menciona que este valor está entre 4,2 a 4,3.

El pH es una de las propiedades principales, ya que la

disminución de pH en yogurt contribuye al olor y sabor característico.

c) Ácido láctico

La acidez en productos lácteos es expresada como porcentaje de ácido láctico. Según la Ley General de Salud (1996) el porcentaje de ácido láctico presente en el yogurt oscila entre 0,8 – 1,8 % de ácido láctico. El aumento en la acidez en yogurt por la producción de ácido láctico ocasiona la coagulación de la caseína, además afecta la textura y el sabor en el producto (Fennema, 1993).

El porcentaje de ácido láctico adecuado es extremadamente importante para la producción de yogurt de alta calidad con sabor, cuerpo y textura propia, que exhiba el mínimo porcentaje de sinéresis durante el almacenamiento (Ankenman, 1996). Gracias a la producción de ácido láctico, el pH baja y las micelas de caseína se desestabilizan formando el gel característico del yogurt.

d) Sinéresis

La sinéresis se define como la capacidad de retención de agua por un alimento o bien, el suero que se desprende del producto y que se acumula en la superficie (Óztur y Öner, 1999).

Un factor que influye en el aumento de la sinéresis es el desarrollo de alta acidez, así como la agitación a temperaturas relativamente altas, también se ve afectada por la presencia de aditivos como pueden ser gomas, la adición de minerales aumenta el porcentaje de sinéresis (Tamime y Robinson, 1991).

Argaiz (2003) menciona que cualquier tratamiento que modifique la interrelación normal entre el agua y los otros constituyentes alimenticios, causará que se altere el carácter típico del alimento.

e) Humedad

La humedad es la cantidad de agua presente en el alimento. Los enlaces que tiene el agua con otros elementos presentes es de fundamental importancia en la industria alimenticia ya que determinan la funcionalidad, el aprovechamiento y la estabilidad de los alimentos en su almacenamiento (Cadden, 1988). El conocer la cantidad de agua libre que se encuentra en el alimento ayuda a prevenir algunas reacciones de crecimiento microbiano indeseable (Potter y Hotchkiss, 1995).

La cantidad de humedad que una fibra puede retener está en función de la fuente de fibra. Los enlaces con el agua están determinados por polisacáridos y proteínas macromoleculares hidrofílicas (Kím y Bhomik, 1995).

El contenido de humedad del yogurt es de 87,8 % según Gambelli *et al.*, (1999), pero su valor depende del tipo de leche y sólidos solubles en ella.

f) Densidad

La densidad es una prueba que se realiza a la leche fresca con objeto de comprobar si existe alguna adulteración del producto. La densidad absoluta es igual a la masa de la sustancia dividida por el volumen que ocupa. La densidad relativa es el cociente de dividir el valor de la masa de un volumen de leche por la masa de un volumen igual de agua a 4°C (Poded, 1966).

La densidad de los productos lácteos se ha reportado a 15 °C como gravedad específica y se encuentra entre 1,032 – 1,036 (Harper y Hall, 1981).

2.7.2 Propiedades Reológicas

La reología es el estudio físico del comportamiento de los materiales, es una rama de la física que puede definirse como la ciencia de la deformación y de las propiedades de flujo. Se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia, trata también de la fricción entre sólidos, del flujo de polvos, e incluso de la reducción a partículas, o molturación (Muller, 1977).

La industria de alimentos utiliza con frecuencia medidas reológicas, pero las obtiene por procedimientos susceptibles de ser considerablemente mejorados. Los alimentos, además de ofrecer un olor, un color y un sabor característicos, exhiben determinado comportamiento mecánico: reaccionan de un cierto modo, cuando se intenta deformarlos (Muller, 1977).

Las propiedades reológicas de los alimentos son importantes para diseñar el proceso del fluido, control de calidad, almacenamiento, procesamiento y predecir la textura del alimento. La textura que se da durante la coagulación del yogurt es una característica importante que determina la aceptabilidad del producto (Shaker *et al.*, 2000).

De acuerdo a Muller (1977), existen 4 razones fundamentales para justificar el estudio del comportamiento reológico de los cuerpos:

- Contribuye al conocimiento de su estructura; por ejemplo, existe cierta relación entre el tamaño y forma molecular de las sustancias en disolución y su viscosidad.
- En la industria se efectúan medidas reológicas en las materias primas y los productos en elaboración, para el control de los procesos.
- La reología presta una valiosa ayuda al diseño de las máquinas.
- Las características reológicas influyen en la aceptación de un producto.

2.7.3 Operaciones unitarias en la elaboración de un producto lácteo fermentado

La elaboración de un producto lácteo fermentado se lleva a cabo por medio de una fermentación por la acción de algunos microorganismos y bacterias de la leche, los cuales hacen que se genere un sabor característico (Laye *et al.*, 1993). Es importante llevar a cabo el proceso a las temperaturas adecuadas y la cantidad necesaria de microorganismos, para que el yogurt tenga las características que se desean.

2.7.4 Estandarización de la leche

Para elaborar yogurt la leche más apropiada es la que tiene un elevado contenido de proteínas y el contenido de grasa varía de un 0,1 a 10 %, lo más habitual es un contenido en grasa de 0,5 – 3,5, siendo necesario estandarizar la composición de la leche según las normas legales fijadas para el yogurt.

Según la FAO /OMS el contenido mínimo de sólidos no grasos de origen lácteo debe ser de 8,2 %. El incremento en el contenido total de materia seca, especialmente de la proporción de caseína y proteína del suero, dará lugar a un yogurt de más consistencia, reduciéndose la tendencia a la separación del suero.

2.7.5 Pasteurización

La leche se calienta hasta alcanzar la temperatura de 85°C y se mantiene a esta temperatura durante 30 a 60 segundos, con los objetivos de mejorar las propiedades de la leche como sustrato para las bacterias del cultivo, eliminar la flora microbiana indeseable, asegurar que el coágulo del yogurt terminado sea firme y desnaturalizar alrededor de 70 – 80 % de las seroproteínas, en particular la β -lactoglobulina, que es la principal seroproteína que

interactúa con la k-caseína, con lo que se facilita que el yogurt adquiera "cuerpo".

2.7.6 Enfriamiento

Concluida la pasteurización se enfría la leche hasta una temperatura de 40 - 43°C.

2.7.7 Siembra

Consiste en adicionar a la leche del 2 – 5% de fermento láctico que contiene las bacterias *Lb. acidophylus* o *Lb. Helveticus* y *St. Thermofilus* que la transforman en yogurt.

2.7.8 Incubación

Se pone a incubar durante un tiempo de 4 – 5 horas, en un lugar donde se mantenga la temperatura de los 40 – 43°C y alcance un pH igual o menor a 4,6.

2.7.9 Enfriamiento

Una vez formado el coágulo característico y alcanzado el pH indicado inmediatamente deberá enfriarse el yogurt hasta que se

encuentre a 12°C de temperatura, con la finalidad de paralizar la fermentación láctica y evitar que el yogurt continúe acidificándose.

2.7.10 Batido

Se realiza con la finalidad de romper el coágulo y uniformizar la textura del producto.

2.7.11 Envasado y almacenado

El envasado se realiza en botellas de plástico blancas. Por último el almacenado del producto debe ser en refrigeración a una temperatura de 4°C, y en condiciones adecuadas de higiene, de lo contrario, se producirá el deterioro del mismo. En la figura N° 04 se observa las principales operaciones unitarias para la elaboración un producto lácteo fermentado.

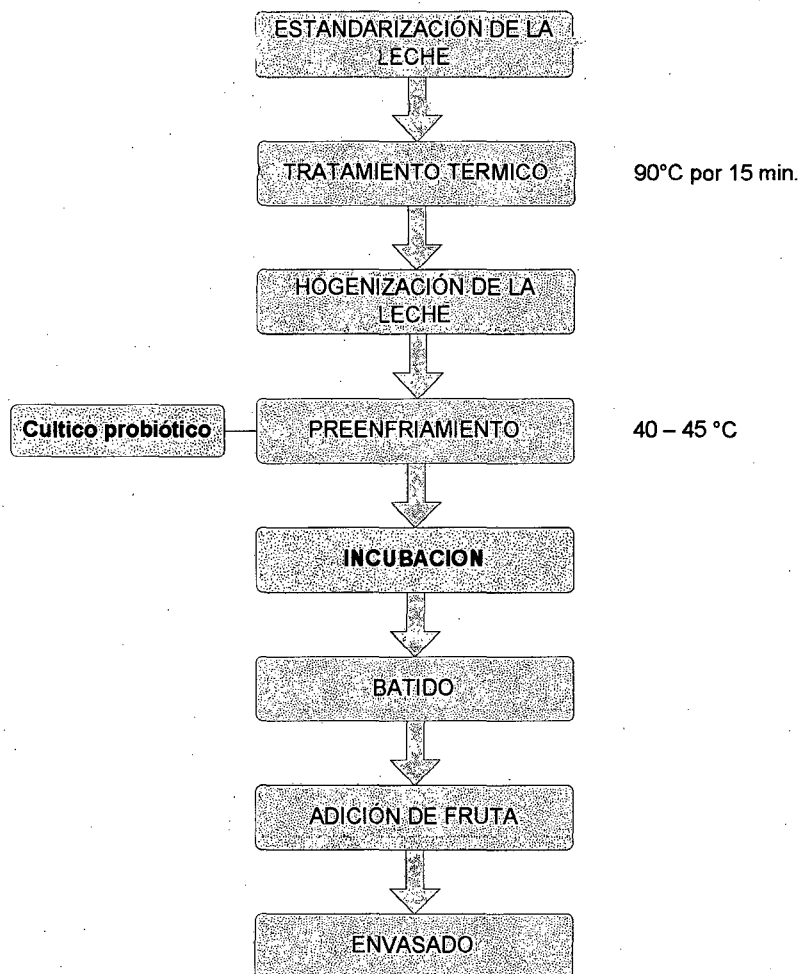


Figura N° 04: Operaciones unitarias generales en la elaboración de un producto lácteo fermentado.

Fuente: Elaboración propia.

2.8 Evaluación Sensorial

De acuerdo a la norma UNE 87-001-86 el examen sensorial es el examen de las propiedades organolépticas de un producto, realizable con los sentidos.

Según Crespo y Soldevilla (1991), citado por Coste; el análisis sensorial es una disciplina científica usada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de los alimentos que se perciben por los sentidos de la vista, el oído, el olfato, el gusto y tacto, por lo tanto, la evaluación sensorial no se puede realizar mediante aparatos de medida, el "instrumento" utilizado son personas perfectamente entrenadas (Coste, 2003).

El análisis sensorial es un auxiliar de suma importancia para el control y mejora de la calidad de los alimentos ya que a diferencia del análisis-fisicoquímico o microbiológico, que solo son una información parcial acerca de alguna de sus propiedades, permite hacerse una idea global del producto de forma rápida, informando llegando el caso, de un aspecto de importancia capital: su grado de aceptación o rechazo (Coste, 2003).

Las propiedades sensoriales son los atributos de los alimentos detectados por los sentidos (Arroyo, 2001).

2.8.1 Evaluación sensorial de los productos lácteos fermentados

La evaluación sensorial, resulta hoy imprescindible para evaluar y analizar la calidad sensorial de los alimentos, como comentan Costell-Duran (1981), los inconvenientes y los riesgos que conllevan son, en la mayoría de los casos, de menor importancia que las ventajas que aporta si se utiliza correctamente.

Según la Norma Portuguesa NP (694), establece que las características sensoriales del yogurt son las siguientes:

- Color: Blanco aporcelanado
- Aroma: Fresco, láctico y característico.
- Consistencia: Firme, lisa, sin separación nítida del suero.
- Sabor: Característico, suave, ligeramente láctico, no azucarado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

El presente trabajo de tesis fue realizado en los ambientes de la planta de productos lácteos "La Bodeguilla", ahí se elaboraron las 15 muestras del producto lácteo fermentado, después dichas muestras fueron llevadas a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias donde fueron analizadas en los laboratorios de Análisis y Microbiología de los Alimentos en los meses de agosto y septiembre del año 2009.

Se trabajó con la leche cabra obtenida del valle de Moquegua y leche de vaca que fue obtenida de la planta de productos lácteos "La Bodeguilla", ubicada en el Valle de Moquegua, km. 1150, departamento de Moquegua.



Figura N° 05: Cabras hembras en periodo de lactancia

Fuente: Elaboración propia

3.2 Materia primas

3.2.1 Leche

La leche para la elaboración del producto lácteo fermentado provenían de hembras que se encontraban entre el tercer y quinto mes de lactancia, fue recolectada por ordeño manual, que se realizó a las 6:00 h la leche luego fue filtrada y transportada en recipientes de plásticos previamente esterilizados.

3.2.2 Insumos

a) Cultivos

El cultivo (*B. bifidum*, *L. acidophilus*) ABY-2 fue adquirido del fabricante NU-TRÍSH RANGE-Bio yogurt, en la ciudad de Tacna.

Este cultivo es concentrado liofilizado de inoculación directa para la producción de yogurt, contiene cepas múltiples *Bifidobacterium bifidum*, *Lactobacillus acidophilus*, que han sido seleccionadas con resistencia a fagos y rápida producción de ácido.

De acuerdo a las especificaciones técnicas del producto, tiene menos de una unidad formadora de colonia de coliformes que son los microorganismos que pueden alterar u ocasionar

intoxicaciones alimentarias, conteniendo menos de 10 unidades formadoras de colonias por gramo para hongos y levaduras, debido a que el cultivo en las cantidades recomendadas también son un medio de control contra agentes contaminantes como hongos, levaduras y coliformes, pero si el número de estos últimos microorganismos supera en demasía, entonces proliferaran en el producto final.

Composición de las cepas:

- *Bifidobacterium bifidum* 50 %
- *Lactobacillus acidophilus* 50 %

Parámetro de inoculación:

- 40 – 45°C de 4 a 6 horas.

Apariencia:

- Polvo liofilizado, de color blanco con olor ácido láctico.

Empaque:

- Sobres de aluminio FDA con sellado hermético

Almacenamiento:

- No mayor a 0°C/12 meses

b) Azúcar blanca:

Se adquirió de la firma Doña Vera de la Corporación ADC, libre de impurezas y envasadas con los más estrictos procedimientos de seguridad e higiene.

3.3 Materiales, equipos y maquinarias:

3.3.1 El procesamiento del producto lácteo fermentado

- Balanza semi analítica de 0,1 a 1000 gramos
- Probeta
- Vaso de precipitado de 50 ml
- Jarra medidora
- Termómetro
- Lactodensímetro
- Lienzos de tela
- Ollas de acero inoxidable
- Mesa
- Incubadora de 40-50°C
- Refrigeradora
- Bandejas de plástico
- Cucharas de madera
- Envases de plástico de 1 litro de capacidad.

3.3.2 En determinaciones analíticas

- Balanza proximal, marca Mettler, de diezmilésimo de gramo.
- Estufa, marca Menmert, rango de temperatura de 30°C a 210°C.
- Mufla, marca FURNACE THERMOLYNE, temperatura máxima 1000°C.
- Butirómetro Gerber
- Centrífuga FUNKE GERBER de 1200 a 1500 rpm
- Baño maría HWK KASSEL S.A.
- Acidímetro
- Potenciómetro ALLIED
- Materiales de pírax, y porcelana varios.
- Acidez titulable: Titulación con NaOH de 0.1 N
- Viscosímetro BROOKFIELD, con Splinder N° 03.
- Placas petri
- Peptona Universal M66
- Medio agar-glucosa SABOURAUD
- Caldo Brilla (verde-brillante-bilis-lactosa)
- Cuenta colonias

3.3.3 En el análisis sensorial

- Evaluación de sabor, aroma y consistencia con determinados porcentajes de leche de cabra, niveles de cultivo y tiempo de fermentación (Anexo N° 09).
- Cabinas para análisis sensorial
- Bandeja de metal
- Vasos de plástico descartables
- Agua mineral

3.4 Muestras para el estudio

En la figura N° 06 se observa el flujo de elaboración de la bebida láctea fermentada.

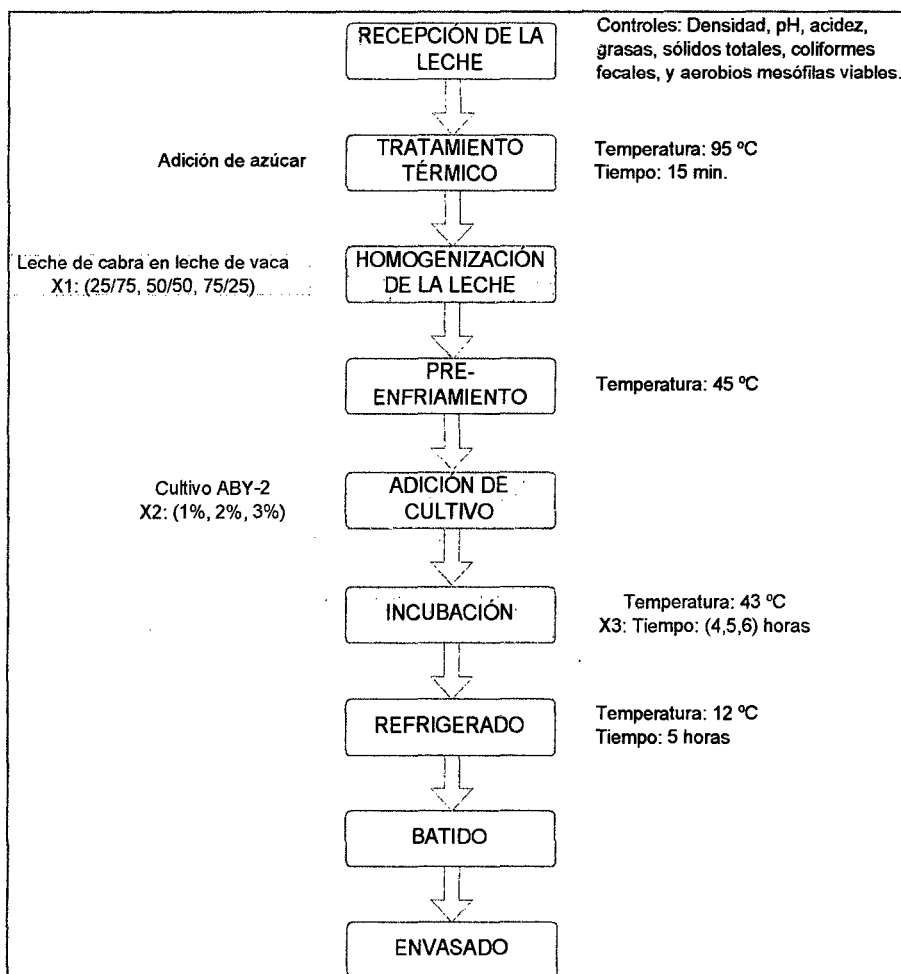


Figura N° 06: Diagrama de flujo de la elaboración de la bebida láctea fermentada.

Fuente: Elaboración propia.

Se recolectó un total de 8 litros de leche de cabra y 8 litros de leche de vaca en el valle de Moquegua, las muestras se tomaron a las 6:00 horas, y se transportaron en condiciones de refrigeración para realizar los análisis de densidad, acidez, pH, sólidos totales y un análisis

microbiológico para determinar si está apta para el proceso, luego se procedió a pasteurizar la leche en cuba abierta a una temperatura constante de 95°C durante 15 minutos, luego se enfrió hasta 45°C.

Se elaboró 15 muestras con diferentes proporciones de leche de cabra en leche de vaca pasteurizada (25/75; 50/50; 75/25), las cuales tuvieron la adición de cultivo probiótico en diferentes proporciones (1%; 2%; 3%) y fueron incubados a diferentes horas (4; 5; 6).

Para todos los casos se utilizó la misma cantidad de azúcar a razón de 1% por cada litro de leche, manteniendo la temperatura de pasteurización hasta los 95°C por 15 minutos, se enfrió la leche hasta los 45°C, se adicionó el cultivo y se colocó en la cámara de incubación hasta obtener un coágulo firme, para luego colocarlo en el refrigerador por 5 horas, luego se batió el coágulo y se colocó en envases codificados para los análisis fisicoquímicos, reológicos y la evaluación sensorial, para ver el cumplimiento de la Norma Técnica Peruana de productos lácteos fermentados.

3.4.1 Recepción de la leche

Recibida la leche se procede a realizar los controles (densidad, pH, acidez, grasas, sólidos totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos viables), luego se pasa por un tamiz para retirar las impurezas (pelos, paja, insectos, etc.). En la figura N° 06 se observa cómo se toma la densidad a la leche de cabra con el lactodensímetro.

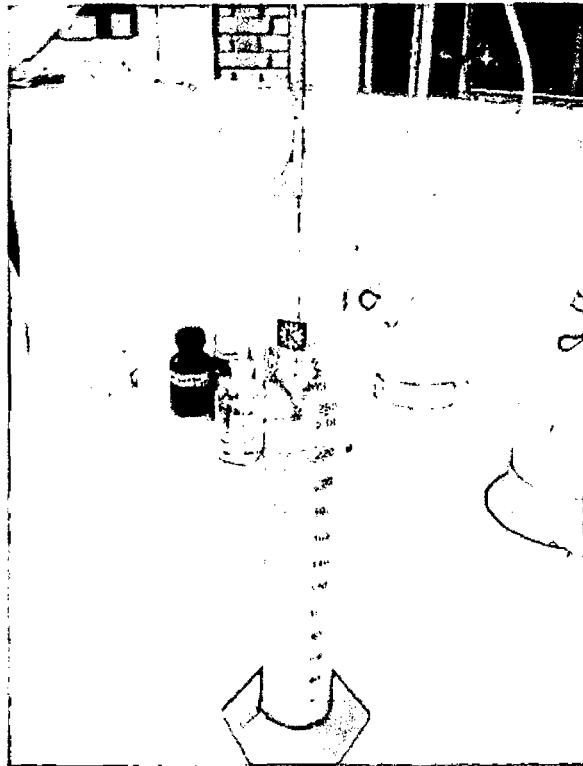


Figura N° 07: Prueba de densidad de la leche de cabra

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Tratamiento térmico

Este proceso es una de las operaciones más importantes de elaboración de la bebida láctea fermentada, debido a que las altas temperaturas destruyen a los microorganismos patógenos de la leche y esto hace que la leche mantenga una buena calidad en el producto final (Potter y Hotchkiss, 1995).

Para que la bebida láctea fermentada adquiera su típica consistencia no sólo es importante que tenga lugar la coagulación ácida, sino que también se ha de producir la desnaturalización de las proteínas del suero, en especial de la β - lactoglobulina.

El tratamiento térmico óptimo consiste en calentar a 90°C y mantener esta temperatura durante 15 a 30 minutos, como se observa en la figura N° 08.



Figura N° 08: Tratamiento térmico de la leche de cabra y vaca.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 Homogeneización de la leche

La homogeneización consiste en reducir de tamaño y dispersar muy finamente las partículas emulsionadas en una mezcla líquida.

El proceso de la homogeneización, se realiza entre 60 a 70 °C, y con una presión que va de 150 a 200 atm. La homogeneización puede efectuarse tanto antes como después del tratamiento térmico (Tamine y Robinson, 1991).

Aquí también se mezclaron los dos tipos de leches: cabra y vaca, en las siguientes proporciones 75/25, 50/50, 25/75.

3.4.4 Pre-enfriamiento

Una vez finalizado el tratamiento térmico, la leche debe enfriarse hasta la temperatura de incubación que varía entre 40 – 41 °C, como se observa en la figura N°09.

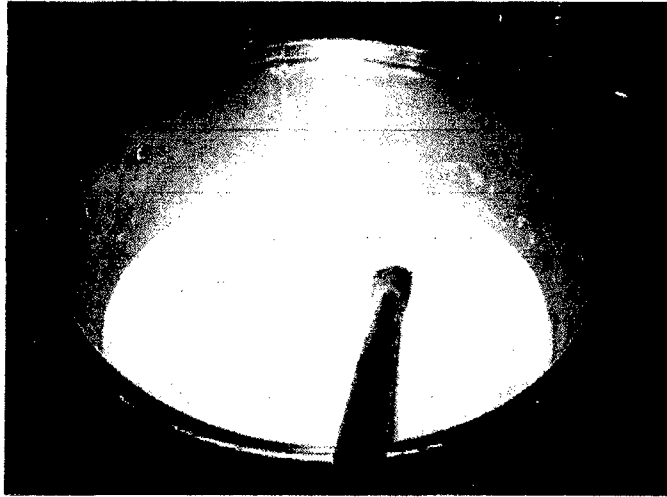


Figura N° 09: Pre-enfriamiento de la leche de cabra.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5 Adición de cultivo

El cultivo se preparó con anterioridad en las dosis especificadas por el fabricante, para adicionar a la leche se consideraron diferentes niveles (1%, 2%, 3%), para determinar su influencias en las propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales. Este se adiciona a una temperatura de 41°C.

3.4.6 Incubación

Este proceso tiene por objeto proporcionar las condiciones de temperatura y tiempo para que se desarrolle óptimamente el cultivo

inoculado responsable de la fermentación láctica y la formación de compuestos responsables del sabor y aroma de la bebida láctea fermentada. La incubación se efectúa óptimamente a una temperatura de 40 a 41 °C durante 4, 5 y 6 horas según el nivel preparado.

Como se observa en la figura N°10, se colocan las muestras del producto lácteo fermentado en una cámara de incubación hecha de material de tecnopor.

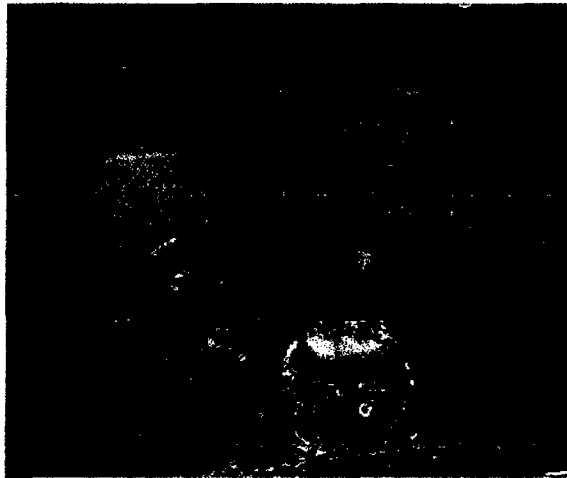


Figura N° 10: Incubación del producto lácteo fermentado.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.7 Refrigerado

El enfriamiento se ha de realizar con la mayor brusquedad posible para evitar que la bebida láctea fermentada siga acidificándose (Illescas, 2001). El enfriamiento por medio de la refrigeración, es uno de los métodos más utilizados para controlar la actividad metabólica de los cultivos iniciadores y sus enzimas. El enfriamiento del coágulo comienza inmediatamente después de alcanzar una acidez óptima del producto, es decir, un pH aproximado de 4,6 o una concentración de ácido láctico del 0,9% (Tamime y Robinson, 1991).

3.4.8 Batido

Se realiza con la finalidad de romper el coágulo y uniformizar la textura del producto.

3.4.9 Envasado

El envasado se realiza en envases de plástico blancos, en presentaciones de 1 litro y el almacenado del producto debe ser refrigerado a una temperatura de 4°C.

3.5 Diseño experimental

En la figura N° 11 se observa la representación gráfica de las variables y sus respectivos niveles en estudio para la optimización de la bebida láctea fermentada.

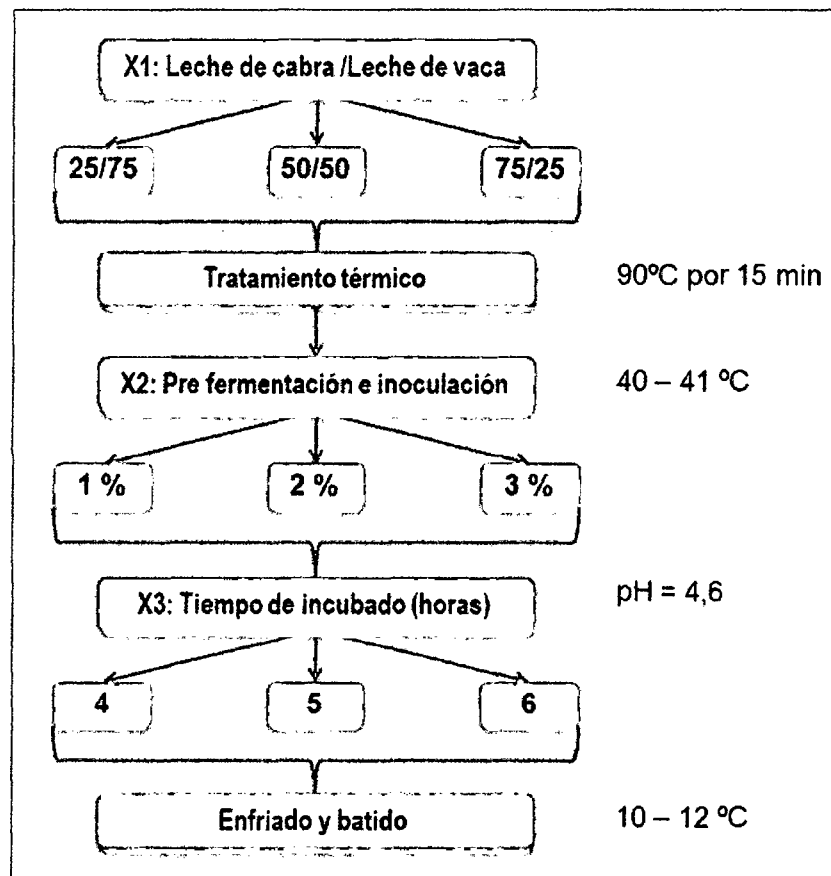


Figura N° 11: Representación gráfica de las variables y sus respectivos niveles en estudio para la optimización de la bebida láctea fermentada.

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro N° 07 se presenta las variables independientes y sus respectivos niveles de estudio

Cuadro N° 07: Variables Independientes y sus respectivos niveles de estudio para el proceso de optimización de la bebida fermentada según el diseño Box-Benkhen.

VARIABLES INDEPENDIENTES	niveles		
	-1	0	1
X1:leche de cabra/leche de vaca	25/75	50/50	75/25
X2: cultivo probiótico	1	2	3
X3: tiempo de incubación	4	5	6

Fuente: Elaboración propia

3.5.1 Variables Dependientes

- Atributos sensoriales: sabor (Y1), aroma (Y2), color (Y3).
- Características fisicoquímicas: pH (Y5), acidez (Y6)
- Características reológicas: coeficiente de consistencia (k) e índice reológico (n)

3.5.2 Instrumentos de investigación

En el estudio de la elaboración de la bebida láctea fermentada, se empleará la metodología de superficie de respuesta (MSR), y mediante el Software Statistica versión 5.0, el delineamiento factorial Box Benkhen con 15 ensayos (cuadro N°08) resultó ser el

más adecuado para investigar el efecto de las tres variables independientes sobre las propiedades sensoriales, fisicoquímicas y reológicas.

Cuadro N°08: Condiciones experimentales según diseño factorial Box Benkhen para los niveles reales de las variables en estudio.

ensayo	NIVELES CODIFICADOS			NIVELES REALES		
	leche cabra	cultivo	tiempo	leche cabra*	cultivo	tiempo
1	-1	-1	0	25	1	5
2	1	-1	0	75	1	5
3	-1	1	0	25	3	5
4	1	1	0	75	3	5
5	-1	0	-1	25	2	4
6	1	0	-1	75	2	4
7	-1	0	1	25	2	6
8	1	0	1	75	2	6
9	0	-1	-1	50	1	4
10	0	1	-1	50	3	4
11	0	-1	1	50	1	6
12	0	1	1	50	3	6
13	0	0	0	50	2	5
14	0	0	0	50	2	5
15	0	0	0	50	2	5

* La mezcla total es 100 correspondiente a la suma de leche de cabra y leche de vaca

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Procesamiento estadístico

Con los 15 resultados obtenidos para cada variable respuesta y que se analizó a través de la metodología de superficie de respuesta (MSR); se desarrollaron modelos matemáticos de primer o segundo orden conteniendo los coeficientes de los efectos lineales, cuadrático y de interacciones. La validez de predicción y efecto significativo de los modelos hallados será tratado por análisis de varianza (ANVA) mediante el uso de los programas Statistica for Windows versión 5.0; En ella se observará el grado de significación del modelo de regresión, al 95 % de confianza, con la ayuda de la prueba F.

Para la determinación del tratamiento de mejores condiciones se aplicará la técnica de la Optimización Múltiple mediante el uso del software Desig Expert 7.0

Al producto final hallado se le realizará una prueba de comparación con otras dos muestras comerciales a fin de determinar su aceptabilidad. Y será evaluada con la ayuda de la prueba ANVA y análisis de significancia ambas al 95 % de confianza.

3.6 Determinaciones analíticas

3.6.1 Análisis fisicoquímico de la leche de cabra

Se realizaron controles de densidad, pH y acidez sobre las leches fresca de cabra y vaca:

- pH: utilizando el potenciómetro.
- Acidez: Valorando con hidróxido de sodio 0,1N, esto se expresa en g De ácido láctico por 100 ml de leche.
- Densidad: con el lactodensímetro de Quevenne a una temperatura de 15°C.
- Sólidos Totales: por diferencia de peso, secando la muestra en la estufa a 105°C, hasta peso constante.
- Grasa: por el método de Gerber de separación de las grasas y luego centrifugando.

3.6.2 Análisis microbiológico de la leche de Cabra

Para controlar el ingreso de la carga microbiana del proceso se sometió a un análisis microbiológico a la leche fresca de cabra y vaca. En el cuadro N° 09 se dichos análisis.

Cuadro N°09: Análisis microbiológico

Prueba	Cultivo	Método
Coliformes	Caldo Verde Brillante Bilis lactosa	Número más probable (NMP)
Aerobios Mesófilos Viabiles	Agar agar	Recuento en placas

Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Evaluación del producto terminado

Al producto terminado se le evaluó 5 días de elaborado, por encontrarse en el límite del vencimiento para este tipo de productos (5 días) realizando las siguientes pruebas:

3.6.3.1 Método afectivo, prueba hedónica

Se aplicó el método aceptación/rechazo en la evaluación de la formulación que presento la mayor preferencia. Esta prueba se utilizó para saber el grado con el que los consumidores gustan o no del producto y la preferencia que el consumidor asume sobre el producto.

La escala de puntuación para la prueba de aceptabilidad es de 9 puntos (Anexo 09).

3.6.3.2 Análisis físico-químico y reológico del producto terminado

Se realizaron los análisis de acuerdo al INDECOPI, a la Norma Técnica Peruana 202.092 del Yogurt; siendo las siguientes pruebas las realizadas:

- pH: utilizando el potenciómetro.
- Acidez: Valorando con hidróxido de sodio 0,1N, esto se expresa en gr. de ácido láctico por 100 ml de leche.
- Determinación de la viscosidad: Viscosímetro BROOKFIELD, con Splider N° 03.

IV. HIPÓTESIS E IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

4.1 Formulación de la hipótesis

Es posible elaborar una bebida láctea fermentada a base de leche de cabra y vaca con adición de cultivo prebiótico, optimizando sus atributos sensoriales y evaluando sus propiedades físico – químicas y reológicas.

4.2 Identificación de variables e indicadores

4.2.1 Variables

a) Variables independientes:

- Proporción de leche de cabra en vaca.
- Concentración del cultivo probiótico.
- Tiempo de fermentación.

b) Variables dependientes:

- Características fisicoquímicas: pH y acidez.
- Atributos sensoriales: olor, sabor y consistencia.
- Características reológicas: índice reológico (n) y coeficiente de consistencia (k).

4.2.2 Indicadores

En el cuadro N° 10 se observa las características físicas y químicas de un producto lácteo fermentado.

Cuadro N° 10: Características físicas y químicas de un producto lácteo fermentado.

ESPECIFICACIONES	MÍNIMO	MÁXIMO
pH	4,0	4,5
Acidez (°D)	8	18
Humedad (%)	87,0	87,8
Densidad (g/cm ³) a 15 °C	1,032	1,036
Viscosidad (P)	14,0	22,0

Fuente: Kosikowski (1977)

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Materia prima

5.1.1 Análisis fisicoquímico

Del análisis fisicoquímico de la leche fresca de cabra y vaca se obtuvieron los resultados que se detallan en el cuadro N° 11.

Cuadro N° 11: Resultados de análisis fisicoquímico de la leche de cabra y vaca.

Propiedades fisicoquímicas	Leche de vaca	Leche de cabra
Densidad (g/cm ³)	1,030	1,034
Acidez (°D)	18,00	19,0
pH	6,75	6,6
Grasas (%)	3,20	5,5
Sólidos Totales (%)	16,3	22,5

Fuente: Elaboración propia

Es posible que la leche de cabra tenga mayor densidad ya que el extracto seco total puede ser mayor así como el contenido graso, la caseína, albúminas y globulinas con respecto a la leche de vaca; lo que puede observarse en los resultados obtenidos; pero también se sabe que oscilan por influencia de factores como son raza del

animal, época de lactación y tipo de alimentación, etc. (Veisseyre R, 1986).

Según Illescas, C.E. la leche de cabra tiene 4,3 % de materia grasa y la leche de vaca 3.8%, en los resultados obtenidos se observa que los porcentajes de grasa en la leche de cabra son mayores, esto se puede deber a la raza del animal, época de lactación y tipo de alimentación.

Según Illescas, C.E. la leche de cabra tiene 13% de sólidos totales y la leche de vaca 12,4 %, en los resultados obtenidos se observa que los porcentajes de sólidos totales en la leche de cabra son mayores.

La elevada acidez de la leche de cabra se debe a la mayor cantidad de ácidos grasos que posee en su composición.

5.1.2 Análisis microbiológico

Del análisis microbiológico de la leche fresca de cabra y vaca se obtuvieron los resultados que se detallan en el cuadro N° 12.

Se efectuaron los análisis de recuento de aerobios mesófilos y recuento de coliformes (NMP).

Cuadro N° 12: Resultados del análisis microbiológico a la leche de cabra y vaca.

Prueba	Leche de cabra	Leche de vaca
Coliformes (col/ml)	480 - 1100	400 - 1000
Aerobios mesófilos viables (col/ml)	350000 - 500000	280000 - 400000

Fuente: Elaboración propia

El recuento de colonias aerobias mesófilas expuesto en el cuadro N°12, demuestra que la leche de cabra y vaca presento en todas las repeticiones, una carga bacteriana inicial inferior al límite máximo permitido para la leche cruda por las normas peruanas actuales, el cual permite hasta 1 500 000 gérmenes por mililitro.

En el análisis de bacterias coliformes, se encontró que la leche de cabra y vaca contenían entre 400 – 1100 coliformes por mililitro, esta carga bacteriana encontrada puede deberse a que el ordeño se hizo en forma manual, aumentando las posibilidades de contaminación.

5.2 Análisis estadístico y optimización

Los datos obtenidos se ajustaron a modelos explicativos utilizando la metodología de la superficie de respuesta, según el diseño de Box-

Behnken, de tres variables independientes en tres niveles. Las experiencias realizadas fueron 15, de las cuales 3 fueron repeticiones del punto central. Las respuestas medidas fueron: la aceptabilidad de sus atributos sensoriales (olor, sabor y consistencia), las características reológicas del producto final (coeficiente de consistencia "k", índice reológico "n" y la viscosidad) y dos características fisicoquímicas (pH y acidez final expresado en ácido láctico).

5.2.1 Análisis de los atributos sensoriales

En el cuadro N° 13 se presentan los ensayos realizados para determinar las concentraciones óptimas de los componentes del producto según el diseño de Box-Behnken, con sus respectivos niveles para cada variable independiente así como sus respuestas (variables dependientes). Los resultados experimentales obtenidos en la fermentación de una mezcla de leche de cabra en vaca, evaluados a través de la producción de la aceptabilidad de sus atributos sensoriales son mostrados en Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13: Variables, niveles y ensayos de acuerdo con el diseño de Box Behnken, con sus respectivas respuestas de aceptabilidad sensorial.

X1:Leche de cabra	X2:Cultivo	X3:Tiempo	Olor	Sabor	Consistencia
-1	-1	0	6,8	6,5	6,1
1	-1	0	5,9	5,7	5,3
-1	1	0	7,4	7,0	6,4
1	1	0	6,2	6,2	5,9
-1	0	-1	6,8	7,54	7,64
1	0	-1	6,8	7,0	7,45
-1	0	1	6,9	7,73	7,82
1	0	1	7,0	7,1	7,1
0	-1	-1	6,8	5,36	5,81
0	1	-1	6,8	6,73	7,18
0	-1	1	7,0	6,82	7,1
0	1	1	6,9	6,91	6,73
0	0	0	6,4	7,25	6,85
0	0	0	6,4	7,15	6,95
0	0	0	6,9	7,5	7,05

Fuente: Elaboración propia

Análisis de efectos principales

Para conocer los factores principales, que ejercen mayor influencia sobre las variables respuestas, se analizaron según la visualización de sus pendientes positivas o negativas, que se obtienen del gráfico de efectos principales, figura N° 12.

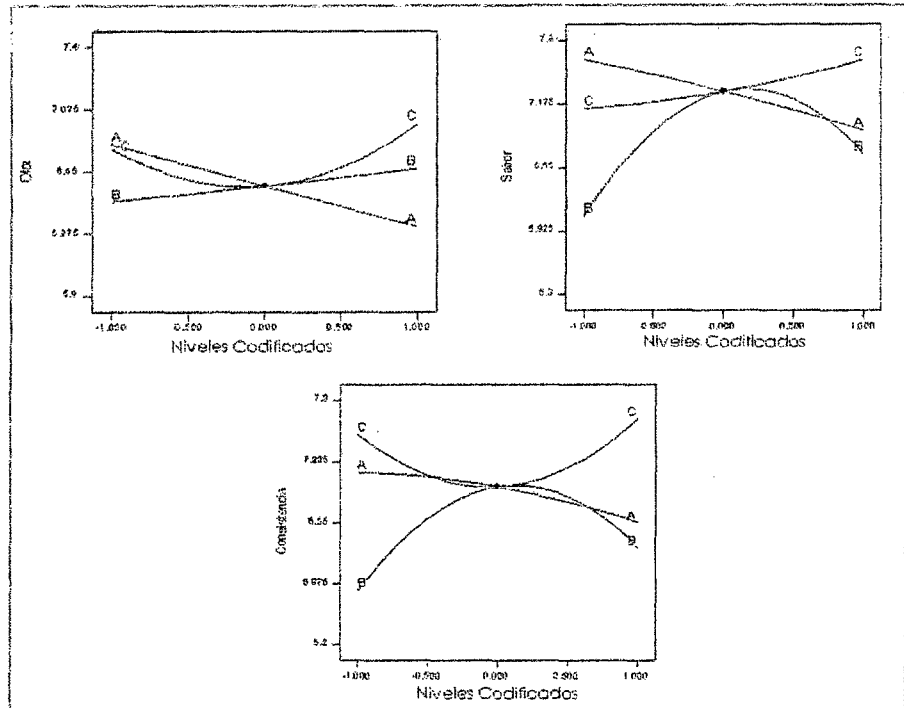


Figura N° 12: Análisis de los efectos principales de las variables independientes sobre cada una de las variables respuestas, donde A: leche de cabra, B: cultivo probiótico, C: Tiempo.

Fuente : Elaboración propia

Esta primera forma de análisis de las variables en estudio nos muestra que el olor de la mezcla de leches (cabra y vaca) fermentada disminuye su aceptabilidad en la medida que se incrementa la concentración de leche de cabra en la mezcla. Siendo el tiempo de fermentación el factor más favorable.

En el caso del Sabor, las concentraciones de leche de cabra y cultivo probiótico establecen una relación inversa y en consecuencia desfavorable para su aceptabilidad. Quedando el factor tiempo de fermentación, como única variable que describe una tendencia positiva con respecto a la aceptabilidad del sabor.

Sin embargo la aceptabilidad de la Consistencia con respecto a la concentración de leche de cabra muestra una tendencia negativa ligeramente cóncava hacia abajo, siendo la variable concentración de cultivo probiótico la que muestra una curva cóncava hacia abajo muy marcada y en la cual la parte convexa se ubica en inmediaciones del nivel central de la variable. Sucede lo contrario a lo ocurrido para la variable tiempo de fermentación que muestra una curva cóncava hacia arriba y donde su parte convexa también está cerca al nivel inferior.

5.2.1.1 Efecto en el olor

La figura N° 13 construida a partir de la ecuación de regresión (Anexo 01) muestra el comportamiento conjunto de la concentración de la leche de cabra y el cultivo probiótico sobre la aceptabilidad del Olor del producto lácteo fermentado. Si bien la tendencia que se muestra es que a menor concentración de leche de cabra y mayor concentración de cultivo se encuentra la región de mayor

aceptabilidad; sin embargo esta aseveración no se puede aceptar como probable porque el análisis de varianza efectuado muestra un error en el modelo de regresión (0,7506) que es muy elevado con respecto al nivel de significancia (0,05). En consecuencia se puede afirmar que las variables no son significativamente importantes en su influencia en la aceptabilidad del Olor del producto fermentado, o tal vez los niveles escogidos de las variables debieran modificarse. En todo caso entendiéndose que los componentes aromáticos se producen por efecto de la fermentación, tal vez la presencia de un producto poco usual en la elaboración de "un producto lácteo fermentado" como es la leche de cabra, haya surtido ese efecto en los consumidores; es decir que panelistas poco acostumbrados a este tipo de productos hayan marcado cierta distancia al momento de aceptar el olor particular de algunas muestras, y como consecuencia causado mucha distorsión en las respuestas afectando la tendencia y significancia de las variables.

El modelo que ajusta la variable olor es como sigue:

$$Y = 6,57 - 0,25 X_1 + 0,004 X_1^2 + 0,1 X_2 + 0,004 X_2^2 + 0,075 X_3 + 0,304 X_3^2 - 0,075 X_1 X_2 + 0,025 X_1 X_3 - 0,025 X_2 X_3$$

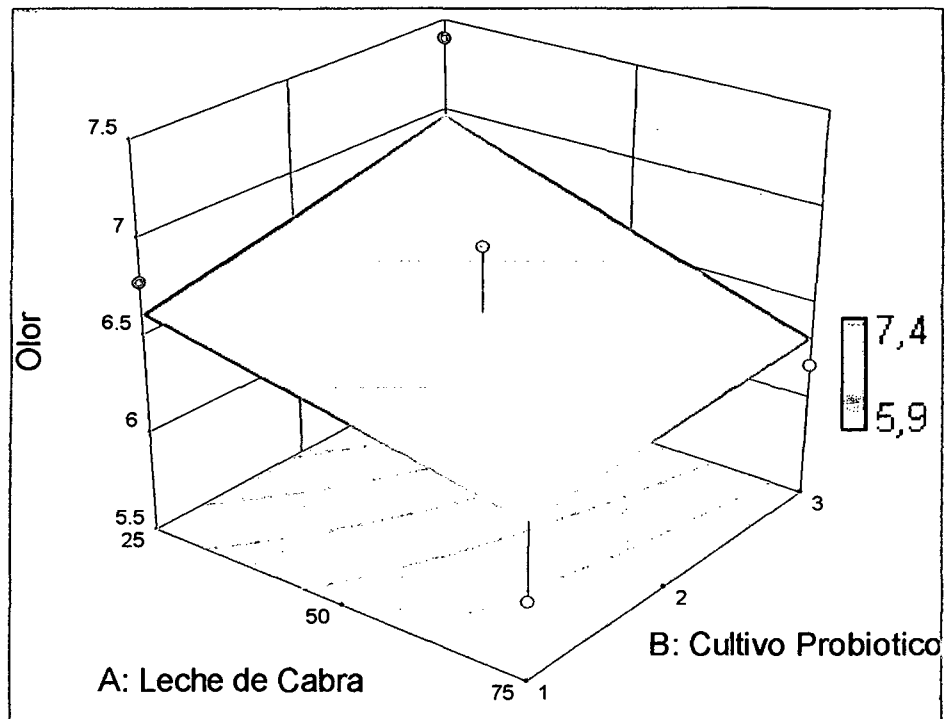


Figura N° 13: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre el atributo **Olor** a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas.

Fuente : Elaboración propia

5.2.1.2 Efecto en el sabor

La figura N° 14 construida con la ecuación de regresión cuadrática (anexo 02) destacan la importancia de las variables concentración de leche de cabra y cultivo probiótico en la variabilidad del sabor, del cual se puede

afirmar que la tendencia para elaborar una bebida fermentada con una mezcla de leche de cabra y vaca, con la mayor aceptabilidad del Sabor será cuando se trabaja con un nivel mínimo de leche de cabra y un rango de cultivo probiótico de 2,0 % y 2,3 % para una calificación en la escala hedónica superior a 7,55 según la escala hedónica se califica entre "me gusta" y "me gusta mucho".

Este comportamiento se puede explicar probablemente por la poca aceptación que tiene en general la leche de cabra en los consumidores, aún si esta ha sido fermentada. Y donde también se debe destacar que la región de máxima aceptación (en color rojo) establece un sector cercano al nivel medio del cultivo probiótico, esto demostraría que existe un nivel de concentración de cultivo probiótico que maximizaría la aceptación del sabor del producto final, que sería muy importante ya que el atributo sabor es un factor muy importante a la hora de elegir un producto por parte de los consumidores.

El modelo que ajusta la variable sabor es como sigue:

$$Y = 7,30 - 0,346 X_1 - 0,031 X_1^2 + 0,308 X_2 - 0,919 X_2^2 + 0,241 X_3 + 0,074 X_3^2 + 0 X_1X_2 - 0,023 X_1X_3 - 0,32 X_2X_3$$

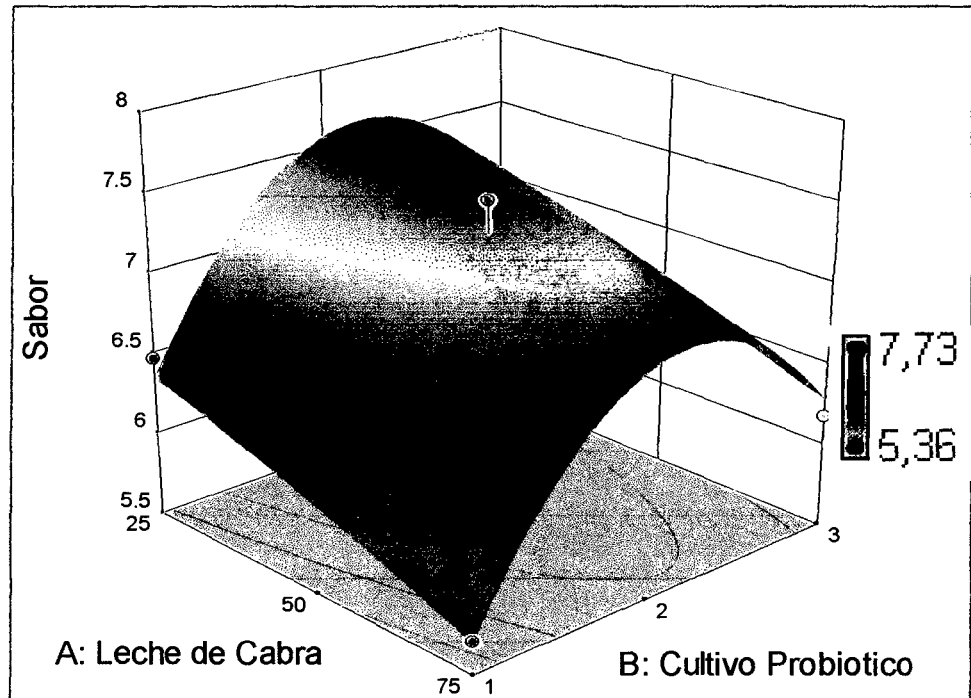


Figura N° 14: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre el atributo **Sabor** a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas.

Fuente : Elaboración propia

5.2.1.3 Efecto en la consistencia

La figura N° 15 construida con el modelo de regresión desarrollado por la metodología de superficie (Anexo 03) muestra la relación entre la concentración de leche de cabra y el tiempo de fermentación y su influencia en la

aceptabilidad de la Consistencia, dicho comportamiento muestra dos regiones de máxima aceptación de la consistencia (región en color rojo) ubicados en los extremos de los niveles mínimo y máximo del tiempo de fermentación y bajo condiciones de mínimas concentraciones de leche de cabra; este comportamiento probablemente se debe a que siendo la concentración de leche de cabra un factor en relación casi directa con la acidez, y siendo este el principal causante de la coagulación de las proteínas de la leche, será que esta mezcla de leches alcanza niveles de viscosidad que solo son más aceptables por los panelistas cuando la mezcla es fermentada a corto o largo tiempo. Teniendo en cuenta que la leche de cabra no presenta la caseína beta 1 y tiene un cierto grado de acidez, ello tal vez haya influido en producir una masa coagulada con un nivel de aceptación casi similar a si una fermentación a un tiempo largo.

El modelo que ajusta la variable consistencia es como sigue:

$$Y = 6,95 - 0,276 X_1 - 0,1138 X_1^2 + 0,2375 X_2 - 0,91 X_2^2 + 0,0838 X_3 + 0,6663 X_3^2 + 0,075 X_1 X_2 - 0,1325 X_1 X_3 - 0,435 X_2 X_3$$

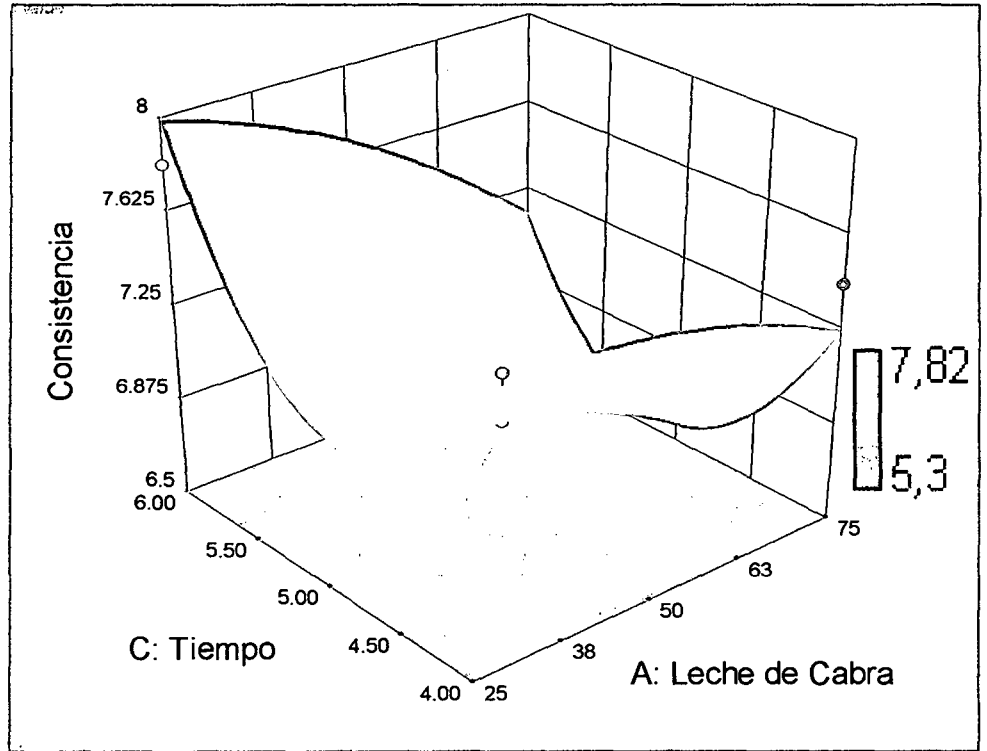


Figura N° 15: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y Tiempo de fermentación sobre la aceptabilidad del atributo **Consistencia** a nivel constante de concentración de cultivo de 2%.

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Análisis de las características reológicas

El índice de flujo (n) es el valor de la pendiente de la recta, mientras que el índice de consistencia (k) es la ordenada en el origen o valor de la fuerza de cizalla para un gradiente de cizalla de 1s^{-1} es decir, $\log (dv/dy) = 0$.

Los valores de k y n pueden emplearse para caracterizar el fluido por encima del rango de valores determinado experimentalmente, es decir, la viscosidad aparente puede determinarse a cualquier fuerza de cizalla o construyendo un diagrama de fuerza de cizalla – gradiente de cizalla a partir de los valores de n y k .

$$\mu_a = k \left(\frac{dv}{dy} \right)^{n-1}$$

Aquellos en los que $n > 1$ se produce espesamiento y su viscosidad aparente es baja cuando las fuerzas de cizalla son bajas y va aumentando a medida que crece la fuerza de cizalla. (Earle, 1998). Para fluidos newtonianos, $n = 1$ ya que cumplen la ecuación de newton donde $k = \mu$. Cuando más alejado es el índice de flujo de la unidad, tanto mayor es la desviación del comportamiento newtoniano (Lewis, 1993).

Las variables independientes, fueron analizadas en sus 3 niveles equidistantes de variación y codificadas con -1, 0, y 1. La evaluación de las propiedades reológicas a través de los resultados experimentales obtenidos en la elaboración de la leche fermentada se muestra en el Cuadro N° 14.

Cuadro N° 14: Variables, niveles y ensayos de acuerdo con el diseño de Box Behnken, con sus respectivas respuestas.

Tratamiento	X1:Leche de cabra	X2: Cultivo	X3: Tiempo	n	k	Viscosidad (cp)
1	-1	-1	0	0,7261	2,045	40400
2	1	-1	0	0,8695	2,185	41400
3	-1	1	0	0,8546	2,075	29920
4	1	1	0	0,8819	2,208	46200
5	-1	0	-1	0,7882	1,968	21400
6	1	0	-1	1,0139	2,163	35920
7	-1	0	1	0,6317	1,779	14080
8	1	0	1	1,1505	2,051	22720
9	0	-1	-1	1,0254	2,187	35440
10	0	1	-1	0,9188	2,083	29360
11	0	-1	1	0,9637	2,016	23600
12	0	1	1	1,1396	2,097	25440
13	0	0	0	0,7563	2,013	33440
14	0	0	0	1,212	2,026	28600
15	0	0	0	0,8195	2,002	30496

Fuente: Elaboración propia

Análisis de efectos principales

Para conocer los factores principales, que ejercen mayor influencia sobre las características reológicas de la leche fermentada de cabra, se analizaron según la visualización de sus pendientes positivas o negativas, que se obtienen de los gráficos de efectos principales, figura N°16.

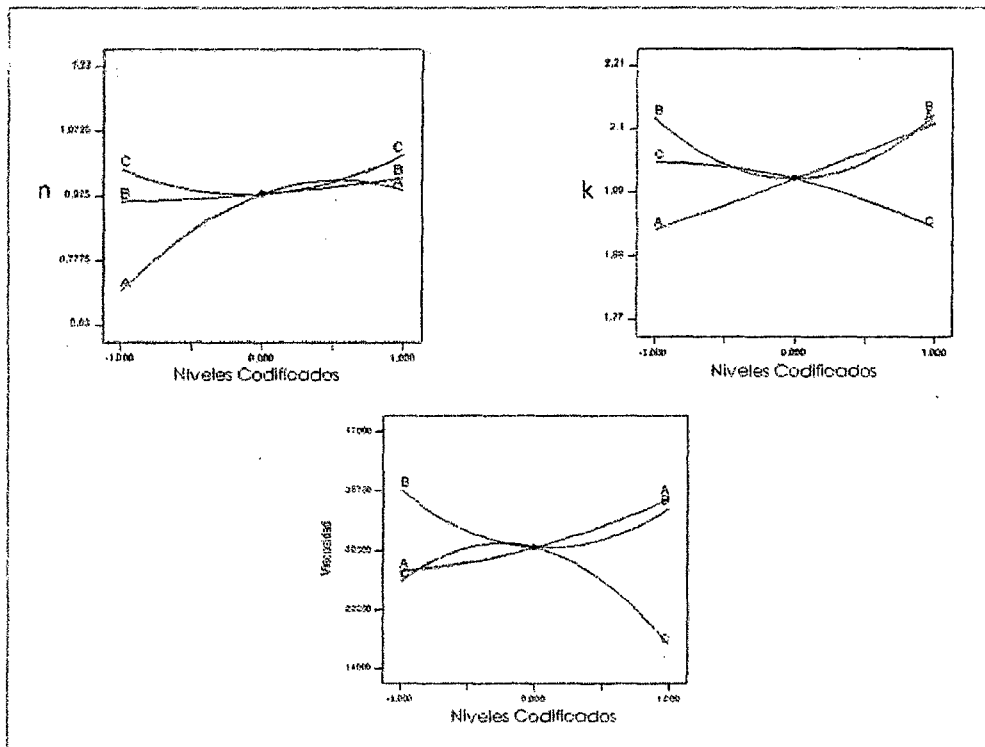


Figura N° 16: Análisis de los efectos principales de las variables independientes sobre cada una de las variables respuestas, donde A: leche de cabra, B: cultivo probiótico, C: Tiempo.

Fuente: Elaboración propia

Esta primera forma de análisis de las variables en estudio muestra que para el caso del índice de comportamiento (n) de la mezcla de leches (cabra y vaca) fermentada aumenta en la medida que se incrementa la concentración de leche de cabra en la mezcla. Mientras que con respecto al cultivo no manifiesta mucha variabilidad y el tiempo de fermentación muestra una curva cóncava hacia arriba, es decir un mayor valor de (n) en un tiempo corto y largo de fermentación.

El coeficiente de consistencia (k), y las concentraciones de leche de cabra establece una relación directa mientras que el tiempo lo es inverso. Mientras que la concentración de cultivo muestra una relación cóncava hacia arriba con el lado convexo en el medio del nivel central de los factores.

La relación de la viscosidad absoluta (μ) con respecto a la concentración de leche de cabra muestra una tendencia positiva. Mientras que la concentración de cultivo presenta una curva relacional cóncava hacia arriba en contraste con el tiempo de fermentación que muestra una relación cóncava hacia abajo.

5.2.2.1 Efecto en el coeficiente de consistencia (k)

Según lo visto en el cuadro N° 14; El índice de consistencia del fluido presentó valores disminuye a medida que disminuye la leche de cabra en la mezcla de leches, sin embargo según el cuadro de análisis de varianza del anexo 04, este comportamiento no puede aceptarse como probable.

El modelo que ajusta la variable coeficiente de consistencia (k) es como sigue:

$$Y = 0,93 + 0,1144 X_1 - 0,106 X_1^2 + 0,0263 X_2 + 0,0098 X_2^2 + 0,0174 X_3 + 0,0728 X_3^2 - 0,029 X_1X_2 + 0,0733 X_1X_3 + 0,0706 X_2X_3$$

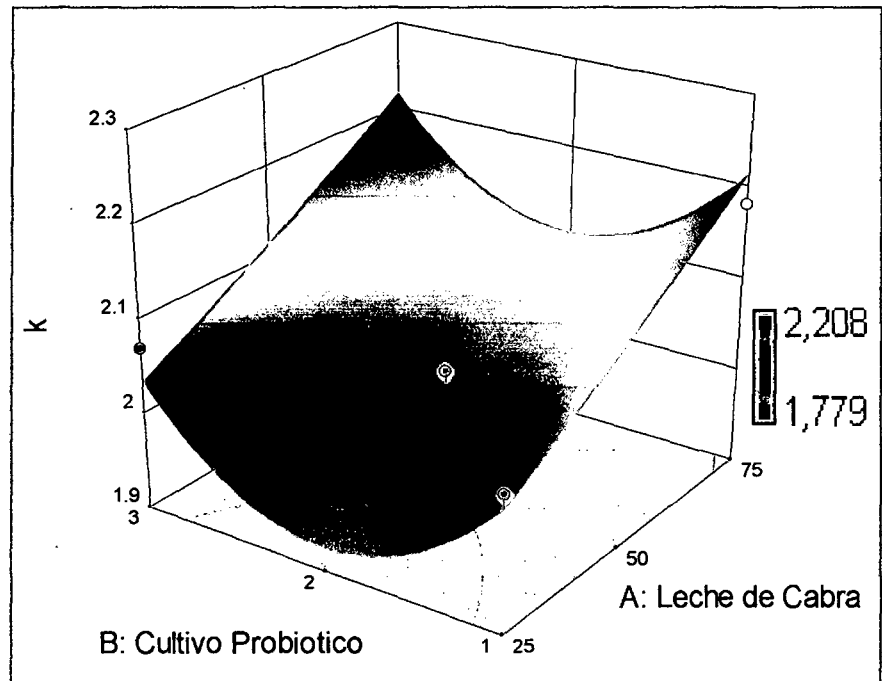


Figura N° 17: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre el índice (**k**) a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas.

Fuente : Elaboración propia

5.2.2.2 Efecto en el índice reológico (**n**)

Según lo visto en el cuadro N° 14; El índice de comportamiento del fluido presentó valores menores que la unidad, indicando un comportamiento pseudoplástico, y en vista de lo que se muestra en la figura N° 18 dicho valor disminuye a medida que disminuye la leche de cabra en la mezcla de leches, sin embargo según el cuadro de análisis de

varianza del anexo 04, este comportamiento no puede aceptarse como probable.

El modelo que ajusta la variable coeficiente de consistencia (k) es como sigue:

$$Y = 2,01 + 0,09 X_1 + 0 X_1^2 + 0 X_2 + 0,11 X_2^2 - 0,06 X_3 - 0,03 X_3^2 + 0X_1X_2 + 0,02 X_1X_3 + 0,05 X_2X_3$$

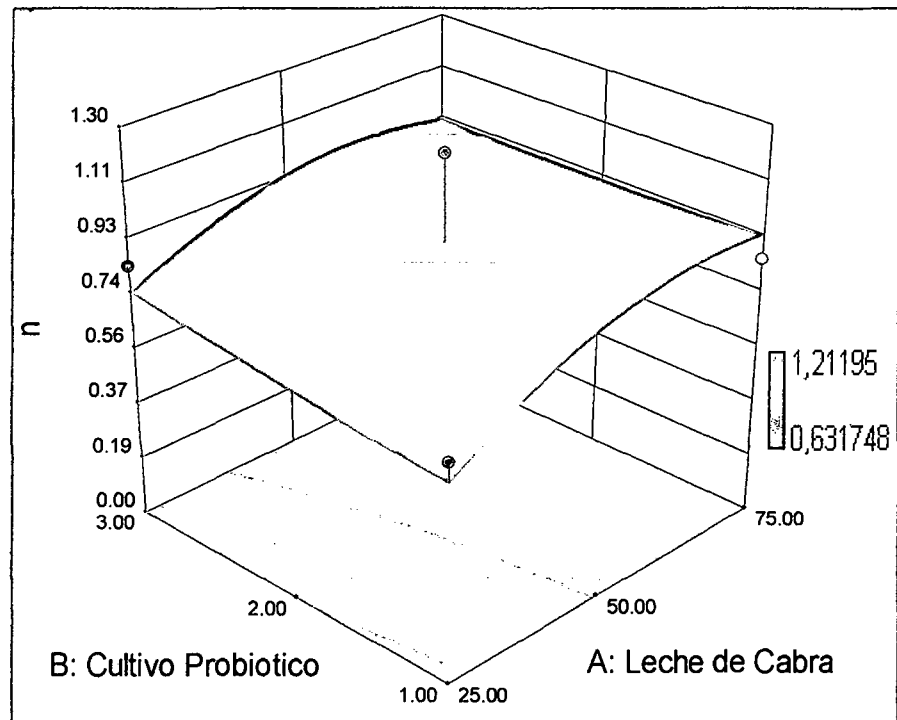


Figura N° 18: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre el índice "n" a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas.

Fuente: Elaboración propia

5.2.2.3 Efecto en la viscosidad aparente

Este término es el que se utiliza al hablar de "viscosidad" para fluidos no newtonianos, y que para el tipo de producto en estudio esta en relación con el coeficiente de consistencia. El modelo que ajusta la variable viscosidad aparente es como sigue:

$$Y = 30\,845,33 + 5055 X_1 + 1852,3 X_1^2 - 1240 X_2 + 6782,33 X_2^2 - 4535 X_3 - 9167,67 X_3^2 + 3820 X_1 X_2 - 1470 X_1 X_3 + 1980 X_2 X_3$$

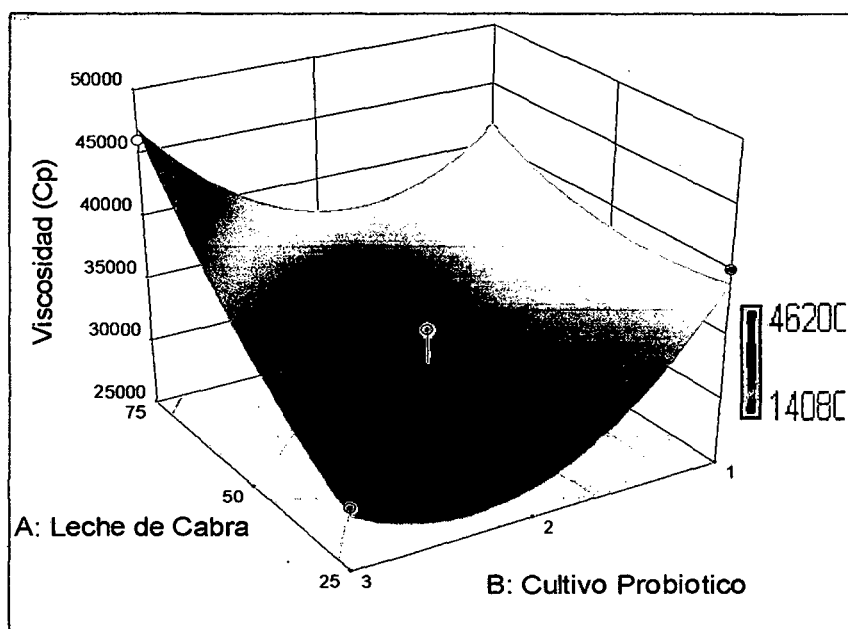


Figura N° 19: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo probiótico sobre la viscosidad a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas.

Fuente : Elaboración propia

Ambas figuras N° 19 y N° 20, construidas con el modelo de regresión según el anexo 06, muestran la importante influencia del cultivo probiótico en la variabilidad de las respuestas.

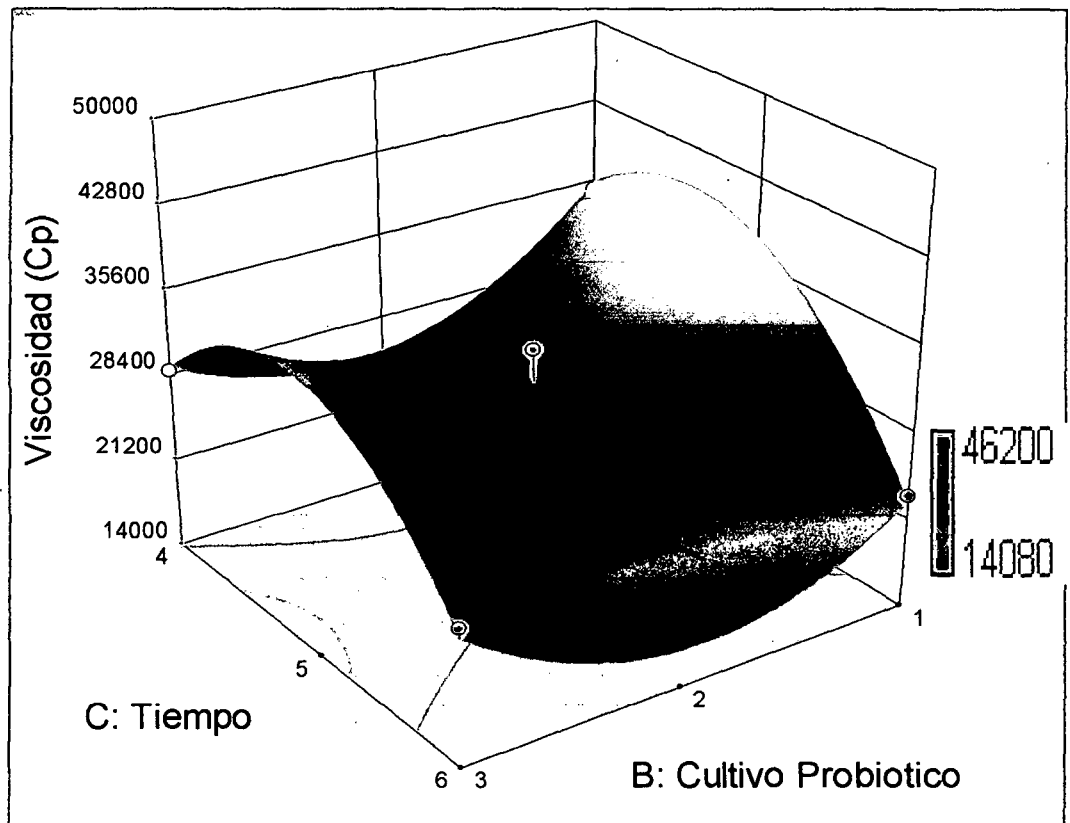


Figura N° 20 : Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de cultivo y tiempo de incubación sobre la viscosidad a nivel constante concentración de leche de cabra de 50 %.

Fuente : Elaboración propia

5.2.3 Análisis de las características fisicoquímicas

Los niveles de factores acidez y pH son los indicadores más adecuados para conocer la actividad del cultivo probiótico. Por tanto, la determinación de la acidez es un parámetro importante para la producción (Tamine y Robinson, 1991).

Los resultados obtenidos reportan valores superiores a 0,8 % de acidez expresado como ácido láctico, tal como se muestra en el cuadro N° 15, esto demuestra que el crecimiento bacteriano en general ha sido satisfactorio dado que está por encima de lo que la Norma Peruana exige con respecto al nivel de acidez.

De esto se concluye que los diferentes tratamientos fueron llevados a cabo en buenas condiciones tecnológicas.

Cuadro N° 15: Variables, niveles y ensayos de acuerdo con el diseño de Box Behnken, con sus respectivas respuestas de pH y acidez.

Tratamiento	X1:Leche de cabra	X2: Cultivo	X3: Tiempo	pH	Acidez
1	-1	-1	0	4,03	0,93
2	1	-1	0	4,05	1,13
3	-1	1	0	4,09	1,17
4	1	1	0	4,07	1,15
5	-1	0	-1	4,1	0,97
6	1	0	-1	4,01	1,15
7	-1	0	1	4,07	0,88
8	1	0	1	4,14	0,93
9	0	-1	-1	4,2	1,03
10	0	1	-1	4,1	1,04
11	0	-1	1	4,09	0,94
12	0	1	1	4,2	0,99
13	0	0	0	4,0	1,02
14	0	0	0	4,1	1,05
15	0	0	0	4,1	1,03

Fuente: Elaboración propia

Análisis de efectos principales

Para conocer los factores principales, que ejercen mayor influencia sobre el pH y la acidez de la leche fermentada de cabra, se analizaron según la visualización de sus pendientes positivas o negativas, que se obtienen de los gráficos de efectos principales, figura N° 21.

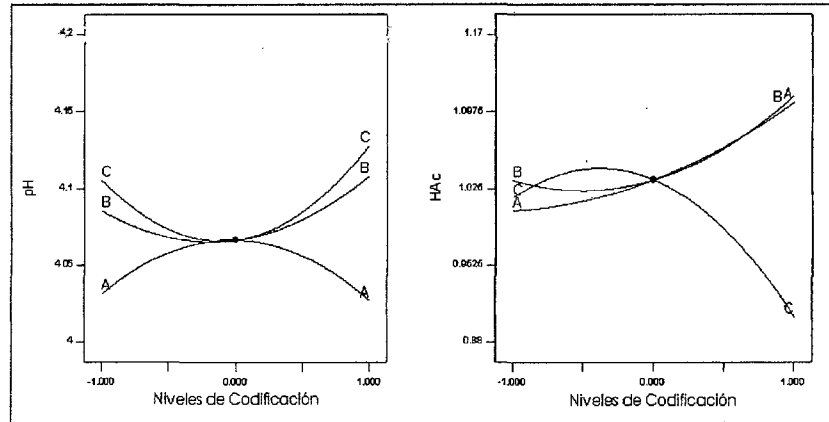


Figura N° 21: Análisis de los efectos principales de las variables independientes sobre cada una de las variables respuestas, donde A: leche de cabra, B: cultivo probiótico, C: Tiempo.

Fuente: Elaboración propia

Este análisis de las variables en estudio muestra que la acidez total de la mezcla de leches (cabra y vaca) fermentada aumenta en la medida que se incrementa la concentración de leche de cabra y del cultivo probiótico en la mezcla. Mientras que con respecto al tiempo de fermentación este valor de acidez total naturalmente decrece en la medida que aumenta el tiempo. Para el caso del pH final, las concentraciones de leche de cabra establecen una relación cóncava hacia abajo, mientras que para la concentración de cultivo y el tiempo de fermentación muestra una relación cóncava hacia arriba con el lado convexo en el medio del nivel central de los factores.

5.2.3.1 Efecto sobre la acidez

Este análisis se ha llevado a cabo con la finalidad de evaluar la cantidad producida de ácido láctico, por el cultivo de bacteria probiótica, y así tomarlo como un criterio de conservación y flavor ácido en la obtención de la leche fermentada a base de la mezcla de leche de cabra y vaca. En la figura N° 22 el comportamiento es prácticamente el esperado en lo que a la acidez total del producto final se refiere, dado que si se toma en cuenta la acidez aportada por la leche de cabra, que por su constitución en ácidos grasos libres es mayor que la de vaca y a ello sumado la acidez producida a medida que aumenta el tiempo de fermentación entonces da como resultado una superficie de respuesta tal como se muestra en la figura 22. Esta relación es confirmada por el análisis de coeficientes y análisis de varianza principalmente del anexo 08 que muestra un probabilidad de error de 0,029 inferior al nivel de significancia del 0,05 es decir que si es posible usar esta ecuación de relación para la predicción de la acidez dentro del rango de estudio establecido y a nivel de laboratorio.

El modelo que ajusta la variable acidez es como sigue:

$$Y = 4,07 - 0,0025 X_1 - 0,0371 X_1^2 + 0,0113 X_2 + 0,0304 X_2^2 + 0,0113 X_3 + 0,0504 X_3^2 - 0,01 X_1 X_2 + 0,04 X_1 X_3 + 0,0525 X_2 X_3$$

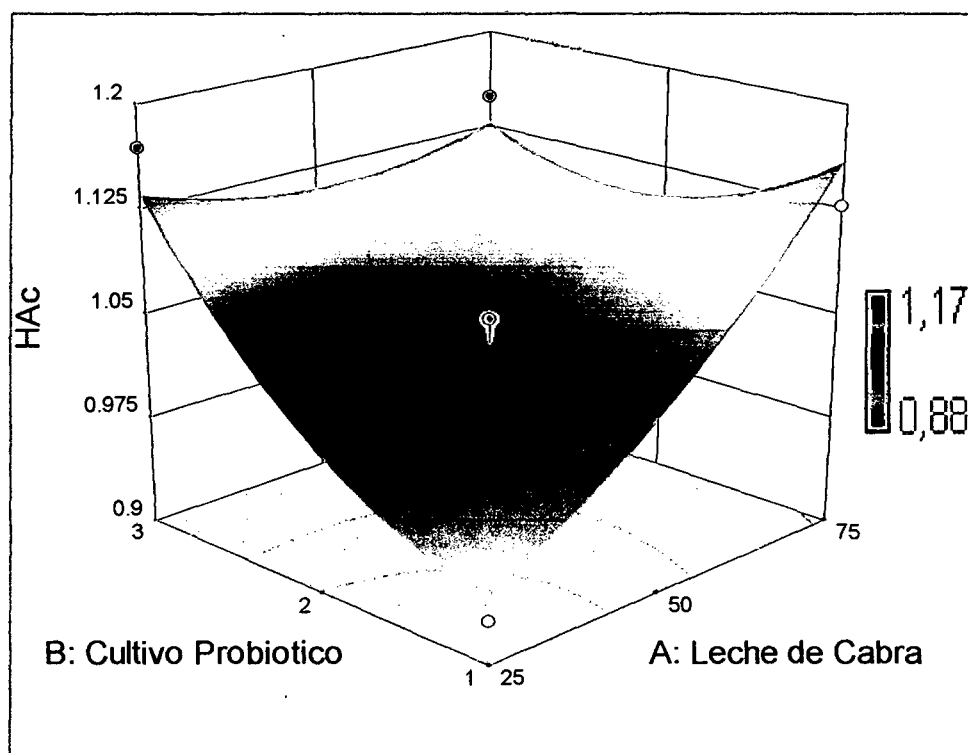


Figura N° 22: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y concentración de cultivo sobre la **acidez** a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas.

Fuente : Elaboración propia

5.2.3.2 Efecto sobre el pH

La aparición del ácido láctico provoca el descenso del pH, que a su vez es el responsable de la coagulación de la leche. La coagulación se produce a causa de la estabilidad de las caseínas. Al pH de la leche fresca, las caseínas tienen carga negativa y se repelen. En la acidificación de la leche, los iones hidrógeno del ácido son absorbidos por las caseínas, por lo que la carga negativa va disminuyendo y así también la repulsión entre ellas. La coagulación empieza cuando la repulsión ha disminuido. A un pH de 4,6 las caseínas son eléctricamente neutras y completamente insolubles. Este nivel de pH se conoce como punto isoeléctrico de la caseína. Su efecto en la bebida láctea fermentada es que una vez ocurrida le confiere su consistencia semisólida característica.

En los productos lácteos fermentados, la fermentación culmina cuando se alcanza un valor de 4,2 a 4,5 de pH aproximadamente, o cuando se observa un valor de 0,75 a 0,8 de acidez titulable. Una vez lograda la acidez requerida, debe enfriarse a 4 o 5 °C para detener la fermentación y evitar que se siga produciendo ácido láctico.

La figura N° 23 construida a partir de la ecuación de regresión (Anexo 07) muestra el comportamiento conjunto de la concentración de la leche de cabra y el cultivo probiótico sobre el valor de pH final. Si bien la tendencia que se muestra es que a menor o mayor concentración de leche de cabra y cultivo se encuentra la región de menor pH; sin embargo esta aseveración no se puede aceptar como probable porque el análisis de varianza efectuado muestra un error en el modelo de regresión (0,1698) que es elevado con respecto al nivel de significancia (0,05). En consecuencia se puede afirmar que las variables no son significativamente importantes en explicación de la variabilidad del pH final del producto fermentado, o tal vez los niveles escogidos de las variables debieran modificarse. Sin embargo en la figura 23 es notorio el efecto tampón que se sucede a niveles bajos de concentración de leche de cabra porque a pesar que la leche de cabra aporta un leve porcentaje de acidez, sin embargo su efecto en el pH no es evidente ya que tanto a niveles bajos o altos se muestra con valores similares, es decir el medio a amortiguado la variación del pH.

El modelo que ajusta la variable pH es como sigue:

$$Y = 1,03 + 0,0512 X_1 + 0,0221 X_1^2 + 0,04 X_2 + 0,0396 X_2^2 - 0,0563 X_3 - 0,0729 X_3^2 - 0,055 X_1 X_2 - 0,0325 X_1 X_3 + 0,01 X_2 X_3$$

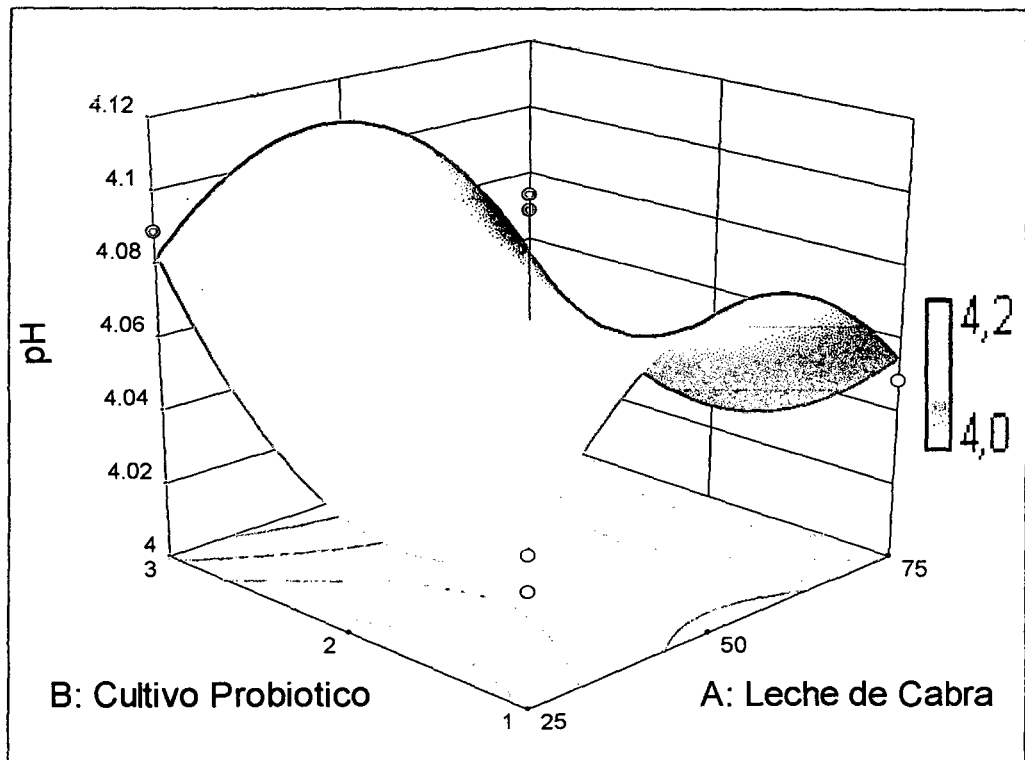


Figura N° 23: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y concentración de cultivo probiótico sobre el pH a nivel constante de tiempo de incubación de 5 horas.

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Optimización

Para la optimización de las variables en estudio se efectuaron dos soluciones buscando las mejores condiciones de elaboración y a la vez reportó un valor cercano a la unidad en la función deseada (d), tal es así que se establecieron las siguientes soluciones:

SOLUCIÓN 1

1. Maximizar la variable independiente Leche de Cabra, mantener en rango la variable Cultivo probiótico y minimizar la variable Tiempo de incubación.
2. Variables respuestas: Maximizar las propiedades; Sabor y Consistencia. Manteniendo en rango a todas la demás variables dependientes.

Aplicando la metodología de la función deseada mediante el paquete estadístico Design-Expert 7.02 como se obtuvo la siguiente solución:

En el cuadro N° 16 se observa Optimización numérica de los factores en estudio para el proceso elaboración de leche fermentada de cabra S1.

Cuadro N° 16: Optimización numérica de los factores en estudio para el proceso elaboración de leche fermentada de cabra S1

FACTOR	Criterio	Mínimo	Máximo	Valor óptimo
X1: Leche de Cabra (%)	maximizar	25	75	75
X2: Cultivo Probiótico	en rango	1	3	2,37
X3: Tiempo (horas)	minimizar	4	6	4
Y1: Olor (escala hedónica)	en rango	5,9	7,4	6,54
Y2: Sabor (escala hedónica)	maximizar	5,36	7,73	6,88
Y3: Consistencia (escala hedónica)	maximizar	5,3	7,82	7,43
Y4: n	en rango	0,632	1,212	0,894
Y5: k	en rango	1,779	2,208	2,119
Y6: Viscosidad (Poises)	en rango	14080	46200	35740,9
Y7: pH	en rango	4	4,2	4
Y8: Acidez (% Ac. Láctico)	en rango	0,88	1,17	1,12
Función deseada (d)				0,858

Fuente: Elaboración propia

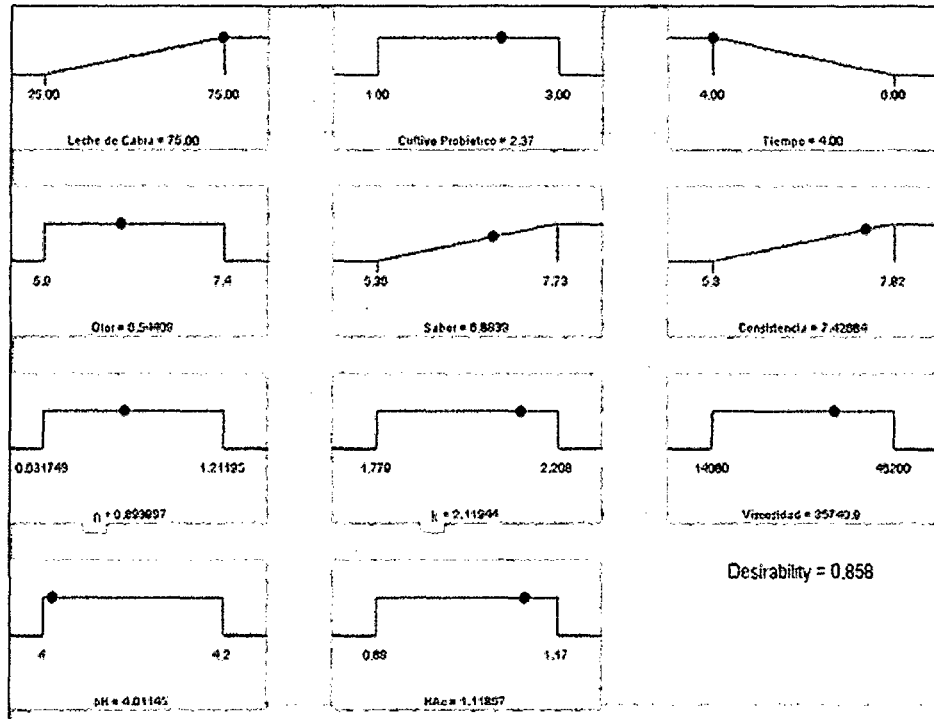


Figura N° 24: Optimización por la metodología de la función deseada de la leche de cabra fermentada. Solución 1

Fuente : Design Expert 7.0.2

SOLUCIÓN 2

1. Variables Entrada: mantener en rango las variables independientes: concentración de leche de cabra, cultivo probiótico y el tiempo de incubación.
2. Variables respuestas: Maximizar las propiedades sensoriales; Olor, Sabor y Consistencia. Manteniendo en rango las demás variables dependientes.

Aplicando la metodología de la función deseada mediante el paquete estadístico Design-Expert 7.02 como obtuvo la siguiente solución:

Cuadro N° 17: Optimización numérica de los factores en estudio para el proceso elaboración de leche fermentada de cabra S2

FACTOR	Criterio	Mínimo	máximo	Valor optimo
X1: Leche de Cabra (%)	en rango	25	75	25,00
X2: Cultivo Probiótico	en rango	1	3	2,31
X3: Tiempo (horas)	en rango	4	6	6,00
Y1: Olor (escala hedónica)	maximizar	5,9	7,4	7,22
Y2: Sabor (escala hedónica)	maximizar	5,36	7,73	7,86
Y3: Consistencia (escala hedónica)	maximizar	5,3	7,82	7,82
Y4: n	en rango	0,632	1,212	0,77
Y5: k	en rango	1,779	2,208	1,85
Y6: Viscosidad (Cp)	en rango	14080	46200	15111,08
Y7: pH	en rango	4	4,2	4,08
Y8: Acidez (% Ac. Láctico)	en rango	0,88	1,17	0,94
Función deseada (d)				0,96

Fuente: Elaboración propia

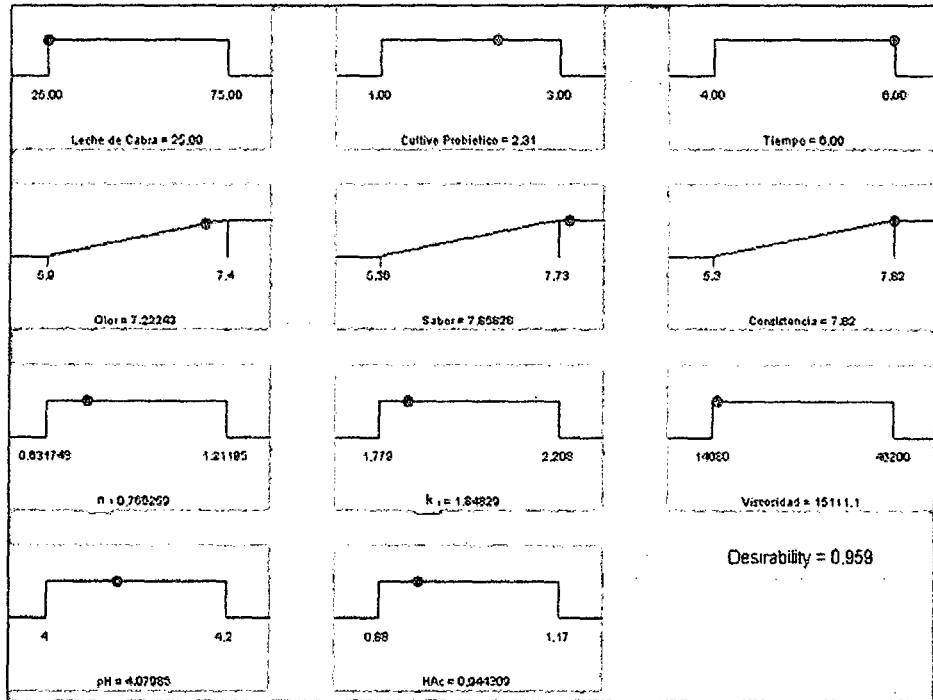


Figura N° 25: Optimización por la metodología de la función deseada de la leche de cabra fermentada. Solución 2

Fuente : Design Expert 7.0.2

La selección de la solución óptima para el proceso de elaboración del producto lácteo fermentado, correspondió a la solución **S2** con que reporta el menor valor de la variable concentración de leche de cabra (25 %) el máximo del tiempo de fermentación (6 horas) y un valor de concentración de cultivo probiótico (2,31) cercano al nivel central; dicho tratamiento es optimizado con la función deseada muy cercano a la unidad (0,959).

En el cuadro N° 17 se reporta valores de pH =4,08 y acidez 0,94 lo que lo hacen como apto para el almacenaje y consumo, además los valores de 7,82 para la consistencia; 7,86 para el sabor y 7,22 para el olor califican al producto entre los rangos de "me gusta" y "me gusta mucho", es decir resulta aceptable para el consumidor.

La figura N° 26 de curvas de nivel para el efecto de las variables leche de cabra y cultivo probiótico sobre la función deseada (d); muestra la tendencia (región roja) para encontrar el tratamiento de mejores condiciones y que es cuando la concentración de la leche de cabra es la mínima y cuando las concentraciones de cultivo probiótico están cercanas al nivel medio de dicha variable.

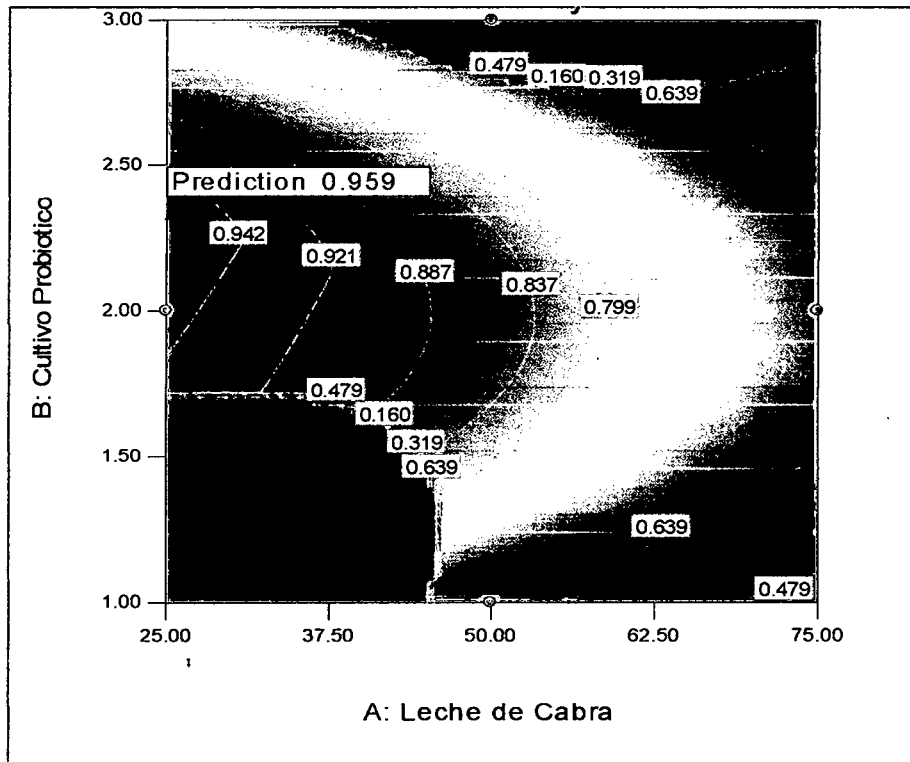


Figura N° 26: Diagrama de Curvas de nivel que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre la función deseada (d) a nivel constante de tiempo optimo de incubación de 6 horas.

Fuente : Diseño de Expertos 7.02

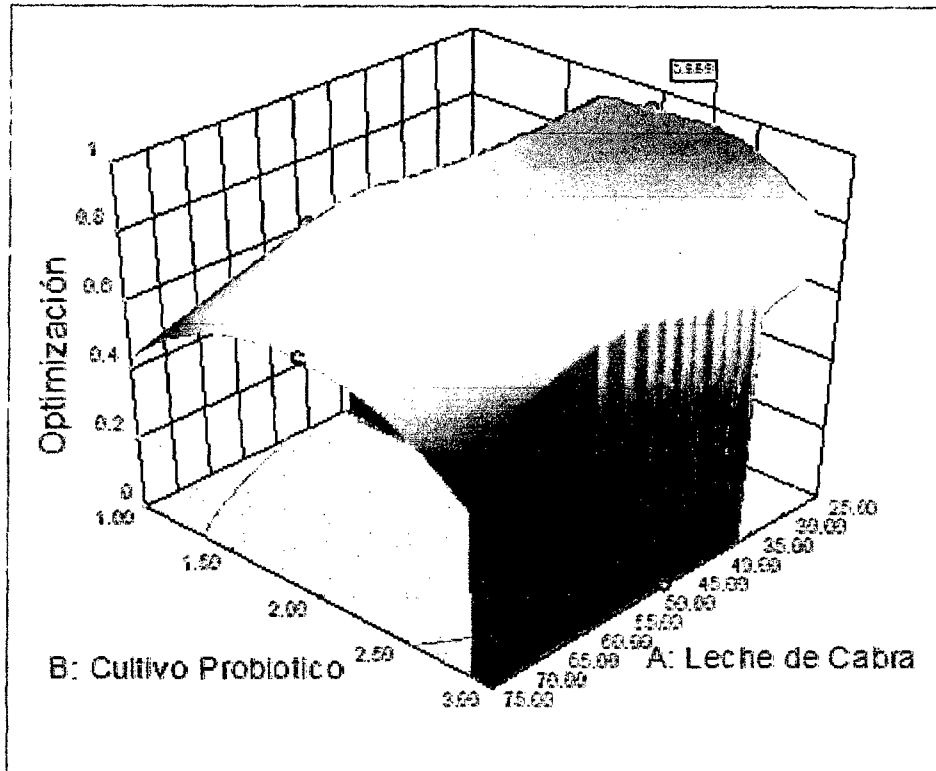


Figura N° 27: Diagrama de superficie de respuesta que muestra el efecto de la concentración de leche de cabra y de cultivo sobre la función deseada (d) a nivel constante de tiempo optimo de incubación de 6 horas.

Fuente : Diseño de Expertos 7.02

5.3 Producto final

5.3.1 Mezcla de materias primas

Del análisis fisicoquímico de la mezcla de leche fresca de cabra y vaca se obtuvieron los resultados que se detallan en el cuadro N° 18.

Cuadro N° 18: Resultados de análisis fisicoquímico de la mezcla de leche de cabra y vaca.

Propiedades fisicoquímicas	Mezcla
Densidad (g/cm ³)	1,031
Acidez (°D)	18,25
pH	6,71
Grasas (%)	3,78
Sólidos Totales (%)	17,85

Fuente: Elaboración propia

El nivel de acidez de la mezcla da un valor intermedio entre ambos tipos de leche, asimismo el nivel de grasas es similar a la leche de vaca y esto debido a que en mayor porcentaje de la mezcla de leche es la leche de vaca.

5.3.2 Diagrama de Flujo Definitivo

El Producto final optimizado es finalmente esquematizado en el flujo de elaboración definitivo (figura N° 29).

Con los parámetros ya establecidos de concentraciones de leche cabra (25%), leche de vaca (75 %) y cultivo probiótico conformado por una mezcla de *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium bifidum* (2,31%).

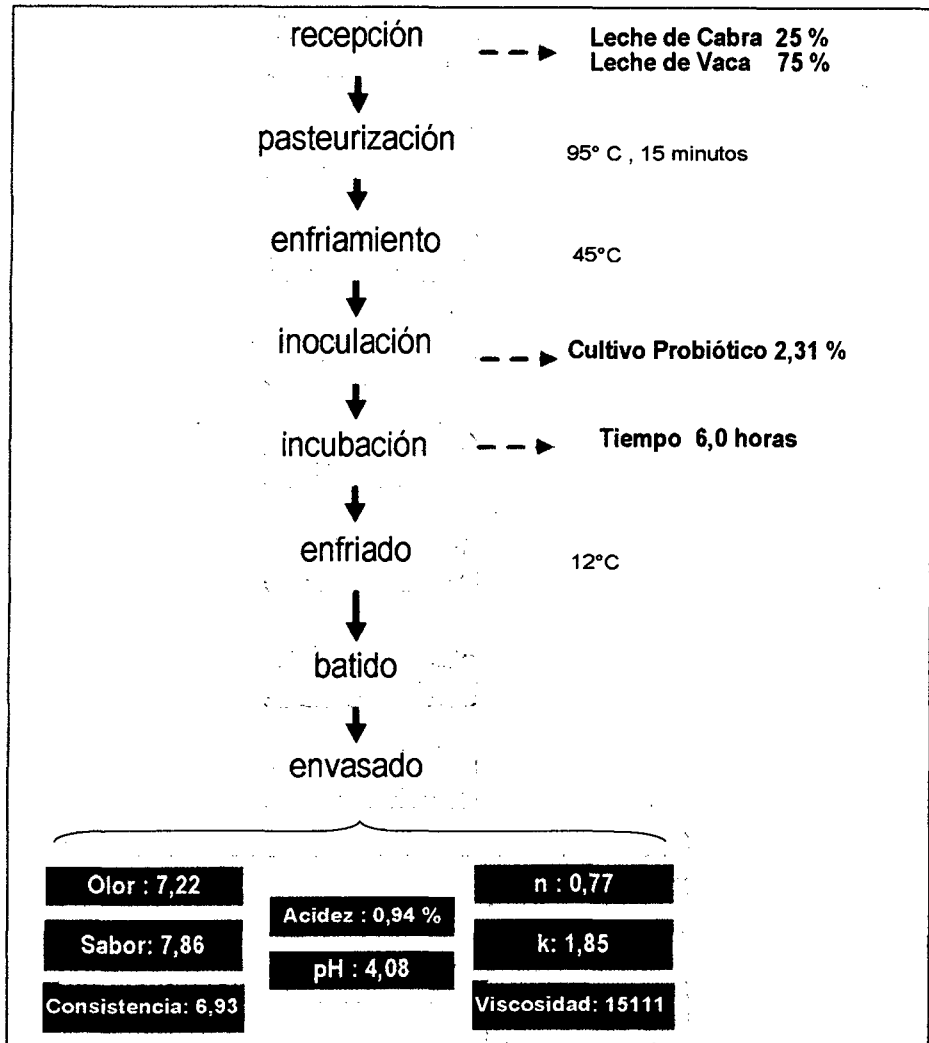


Figura N° 28: Diagrama de flujo definitivo en la elaboración de producto lácteo fermentado a base de leche de cabra y vaca con adición cultivo probiótico.

Fuente : Elaboración propia

5.3.3 Mezcla optima fermentada

Después de realizada la optimización de las variables del proceso se elaboró el producto resultante elegido como el de mejores condiciones (figura N° 28), para su análisis fisicoquímico, sensorial y reológico final.

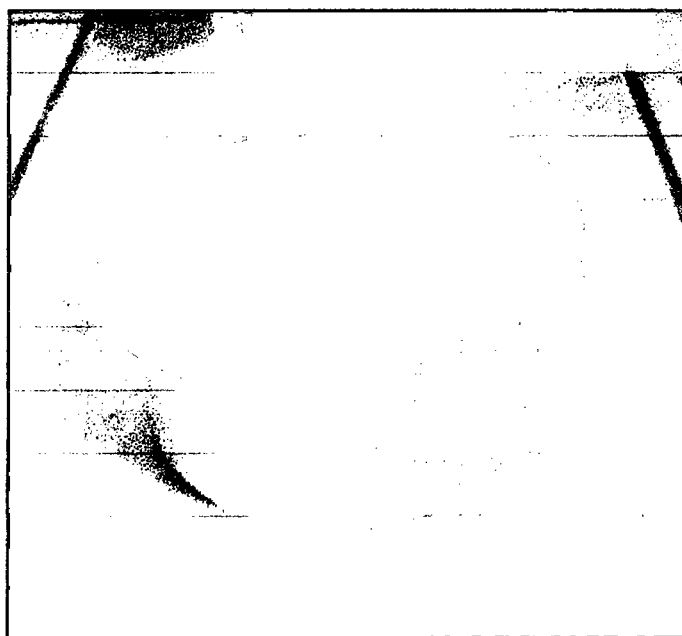


Figura N° 29: Producto lácteo fermentado elaborado a base de una mezcla de 25 % de leche de cabra y 75 % de vaca con adición de 2,3 % de cultivo probiótico VIBOLAC.

Fuente : Elaboración propia

5.3.4 Composición Proximal

El análisis de la composición proximal del producto de mejores condiciones se muestra en el cuadro N° 19, donde se muestra que destaca su elevado porcentaje de carbohidratos con respecto al yogurt tradicional, esta característica hace que este producto final sea muy apreciado desde el punto de vista del atributo sensorial Consistencia, que es el atributo que mayor influencia tiene en el consumidor para la aceptación de productos lácteos.

Cuadro N° 19: Composición proximal del tratamiento de mejores condiciones

Composición en 100 ml	Producto lácteo fermentado
Proteína (g)	5,33
Grasa (g)	2,50
Carbohidratos (g)	6,75
Humedad (g)	84,86
Minerales (g)	0,56

Fuente: Elaboración propia

5.3.5 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico del producto óptimo resultó satisfactorio para los fines de conservación y viabilidad del producto dado que sus niveles de recuento de las bacterias probióticas son los recomendados para su consumo, donde según Gómez y Malcata

(1999) la ingestión de 100 ml de un producto aporta alrededor de 10^8 ufc/ml las bacterias probióticas por día lo cual es probablemente suficiente para observar efecto. Esta es la dosis mínima diaria, para mantener un equilibrio en nuestra flora intestinal.

Cuadro N° 20: Recuento microbiano del producto lácteo fermentado de mejores condiciones de elaboración

Recuento microbiano	Mezcla sin fermentar	Mezcla fermentada
Hongos y Levaduras	---	Ausencia
Coliformes (NMP)	$<10^3$ UFC / ml.	< 3 UFC / ml.

Fuente: Elaboración propia

5.3.6 Balance de masa

A fin de conocer el rendimiento en la elaboración del producto lácteo fermentado final en estudio, se desarrollo el balance de masa que se muestra en el cuadro N° 21. De donde se muestra un rendimiento del 98 % para el producto elaborado a nivel de planta piloto. Siendo la merma más importante durante el batido y el enfriado del producto fermentado. En el siguiente cuadro se muestra Balance de masa correspondiente al tratamiento óptimo en la elaboración producto lácteo fermentado.

Cuadro N° 21: Balance de masa correspondiente al tratamiento óptimo en la elaboración producto lácteo fermentado.

Operaciones	masa ingresa (kg)	masa que sale (kg)	masa que continua (kg)
recepción			
leche de vaca	75,000	0,000	75,000
leche de cabra	25,000	0,000	25,000
pasteurización	100,000	0,100	99,900
enfriamiento	99,900	0,050	99,850
inoculación	99,850		
cultivo probiótico	0,024	0,000	99,874
incubación	99,874	0,050	99,824
enfriado	99,824	0,500	99,324
batido	99,324	1,070	98,254
envasado	98,254	0,250	98,004
Rendimiento			98,00%

Fuente: Elaboración propia

VI. CONCLUSIONES

- 1) Las mejores condiciones operacionales para la formulación y elaboración de la leche fermentada de leche de cabra y vaca, con bacterias probióticas son las siguientes: concentración de leche de cabra 25,0 %; concentración de cultivo probiótico 2,31 %; tiempo de fermentación 6,0 horas. Dichas condiciones dan como resultado un producto final con una acidez = 0,94; pH = 4,08.
- 2) La determinación de las variables dependientes sensoriales para el tratamiento de las mejores condiciones consideran un puntaje mayor de 7 (en un rango de escala hedónica sensorial de 1 - 9) como son: olor = 7,22, sabor = 7,86 y consistencia = 7,82 lo que confirma la buena aceptabilidad
- 3) Las propiedades reológicas determinadas para la leche de cabra y vaca fermentada con cultivo probiótico como producto final, indican que tiene un comportamiento de fluido pseudoplástico con un índice de comportamiento de flujo (n); 0,77 coeficiente de consistencia (k) 1,85 con una viscosidad aparente de 15111. Poises.
- 4) La composición del producto final es el siguiente: Proteína 5,33 %; Grasa 1,30 %; Carbohidratos 12,75 %; Humedad 80,06 %; Minerales 0,56 %.

- 5) El análisis del recuento microbiológico resulto el siguiente:
Ausencia de hongos y levaduras y Coliformes (NMP) <3 UFC /
ml.
- 6) El balance de materia para el producto de mejores
condiciones dio un rendimiento del 98,0 %.

VII. RECOMENDACIONES

- 1) La leche de cabra es alimento ácido, por eso se recomienda utilizarla rápidamente después del ordeño, o mantenerla refrigerada hasta el momento del procesamiento.
- 2) Es importante realizar un buen tratamiento térmico, por ser una operación que elimina la flora microbiana indeseable que contiene la leche y que puede alterar el producto final.
- 3) Para evaluar las muestras del producto lácteo fermentado, se debe hacer en un lugar fresco y ventilado, sin ningún tipo de distracción, con el fin de que evalúen el producto de una manera clara y precisa.
- 4) Para que el producto lácteo fermentado tenga una vida útil más larga, se le puede agregar un conservante autorizado.
- 5) Para que el producto lácteo fermentado posea una mejor apariencia en color, se le puede agregar colorante y saborizante, según sea la preferencia del consumidor.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. **ALAIS, C.** 1985. Ciencia de la leche, Ed. CECSA, México, Pp 594-602.
2. **ANKENMAN, L. Y MORR, C., V.** 1996. Improved ácido, flavor and volatile compound production in a high protein and fiber soymilk yogurt-like product, Editorial Food Science, E.U.A., Pp. 331-336.
3. **ARBIZA, S.I.** 1986. Producción de caprinos, AGT editor, México, Pp. 105-128.
4. **ARROYO,** 1990. La situación del ganado caprino en Perú. Perú.
5. **ARGAIZ, A.** 2003. Apuntes de fisicoquímica de alimentos, UDLA Puebla, México, Inéditos.
6. **BOZA, J. J.; JIMÉNEZ, J.; FAUS, M. J.** 1992. Influences of postnatal age and dietary nucleotides on plasma fatty acids in the weanling rat J.Pen, E.U.A., Pp. 322-326.
7. **BRITO, C. s/f.** Principios de fabricación de quesos de leche pasteurizada de cabra para pequeños productores. ICIRA. Argentina, 19p.
8. **CADDEN, A.** 1988. Moisture sorption characteristics of several food fibers. J. Food Science, E.U.A., 53(4):1150-1155
9. **CHANDAN, R.; ATTAIE, R. y SAHANI, K.M., 1992.** Nutritional aspects of goat milk and its producís Proa V Int Conference on Goat. Nueva Delhi, Pp. 1869-1890.
10. **COSTE, E. B.** 2003. Análisis sensorial de Quesos, Método control. Argentina.
11. **COSTELL, E. y DURÁN, L.** 1981. "El análisis sensorial en el control de la calidad de los alimentos. Revista Agroquímica Tecnológica Alimentaria. España, Pp. 1-10.

12. **COSTELL, E. Y DURÁN, L.** 1981. "El análisis sensorial en el control de la calidad de los alimentos. Revista Agroquímica Tecnológica Alimentaria, España, Pp. 149-166.
13. **DEVENDRA, C. y MCLEROY, G. B.,** 1986. Producción de cabras y ovejas en los trópicos Ed. Manual Moderno, México, Pp, 108-110
14. **DONNELLY VANDERLOO, M.E.; O'CONNOR, D. L. y SHOUKRI,** 1994. Impact of pasteurization and procedures commonly used to rethermalize human milk on folate content Nutrition Res, E.U.A., Pp.1305-1316
15. **DOSTALOVA,** 1994. Goats' Milk. Vyziva, 49(2): 43-44.
16. **EARLY, R.** 1992. The technology of dairy products. VCH Publishers, New York. Pp 35-37.
17. **LONGO, E. J. y BAUMAN, G. D.,** 2003. El Yogurt: Un Alimento Esencial Universitaria en Química, Instituto Politécnico Superior Gral. San Martín, ubicado en Rosario, Argentina, vinculado a www.monografias.com.
18. **FENNEMA, O. R.** 1996. Química de los alimentos. Editorial Acribia. S.A. Zaragoza, España. Pp 38-47, 56-78.
19. **GALLAHER, D.**1998. Probiotics, cecal microflora and aberrant crypts in the rat colon. Editorial Journal nutrition, Italia, Pp. 1362-71.
20. **GAMBELLI, L.; MANZI, P.; PANFILI, G.; VIVANTI, V. y PIZZOFRERATO, L.,** 1999. Constituents of nutritional relevance in fermented milk products commercialized in Italy. Food Chemistry, Italia, Pp. 353-358.
21. **GARCÍA UNCITI, M.S.,**1996. Utilidad terapéutica de los triglicéridos de cadena media. Dietas cetogénicas en la epilepsia infantil Nutrición Clínica, Mexico, Pp. 16:7-35.

- 22. GOMES, A. y MALCATA, X.,** 2000. Agentes Probióticos en Alimentos: Aspectos Fisiológicos, Terapéuticos y Aplicaciones Tecnológicas. Escuela Superior de Biotecnología. Universidad Católica Portuguesa. Boletín de Biotecnología, Brasil, Pp. 43-67.
- 23. HAENLEIN, G .F.W.,** 1992. Role of goat meat and milk in human nutrition. En Proc. V Int. Confon Goats. Nueva Delhi, Pp 575-580.
- 24. HAENLEIN, G.** 2002. Composition of goat milk and factors affecting it (en línea). Delaware, EE.UU. Disponible en: www.ag.udel.edu/extension/information/goatmg/gm-09.htm, consultado el día 24 – 11-2009.
- 25. HARPER, W. J. y HALL, C. W.** 1981. Dairy technology and Engineering. 2a. Edición. AVI. Publishers. E. U. A. Pp. 89-93.
- 26. ILLESCAS, C. E.,** 2001. Curso teórico practico sobre lactología, España, Pp. 13-17, 67-73.
- 27. JENNESS, R.,** 1980. Composition and characteristics of goat milk: Rewiew. J. Dairy Sci., E.U.A, Pp. 1605-1630.
- 28. JAVERBECK, J. y JOFRE H.,** 1980. Cultivos lácticos empleados en la industria lechera. Tecnología de algunos productos lácteos fermentados. UACH. Centro tecnológico de la leche. Valdivia - España. 65p.
- 29. JUAREZ, M.,** 1986. "Physico - chemical characteristics of goat milk as distinct from toe of cow milk", en: Production and utilization of Ewe's and Goat's Milk. International Dairy Federation, Bulletin 202.

30. **JUÁREZ, M.; RAMOS, M. y MARTÍN HERNÁNDEZ, C.,** 1991. Quesos españoles de leche de cabra. Fundación de estudios lácteos (FESLAC). Madrid. 34 pp.
31. **JAUBER, G. y KAIANTZOPOULOS G.,** 1996. Quality of goat milk for cheese and others products VI Int.Conf Goats. Int.Academic Publisher, Vol. I. Beijing China, Pp 274-284
32. **KEATING, P. y GAONA, H.,** 1999. Introducción a la Lactología. 2da edición, Limusa, México, D.F. 316 p.
33. **KIM, S. y BHOWMIK, S.,** 1995. Thermophysical properties of plain yogurt as function of moisture content. J. Food Engineering, E.U.A., Pp. 109-124.
34. **KLINGE, G.,** 1999, Información técnica de Probióticos, Holanda, (Grupo Rhone Poulenc), Pp. 334 - 337.
35. **KOSIKOWSKI F.,** 1977. Cheese and fermented milk foods. 2nd Edition. Edward Brothers Inc. Michigan, U.S.A., Pp. 123- 156.
36. **LAYE, I.; KARLESKIND, D. y MORR, C.,** 1993. Chemical, microbiological and sensory properties of plain non fat yogurt. J. Food Science, U.S.A., Pp. 991-995.
37. **LEWIS M.J.,** 1993. Propiedades Físicas de los Alimentos y de los sistemas de Procesado Editorial Acribia S.A. Zaragoza – España, Pp. 435 -367.
38. **MASLE I., MORGAN F.,** 2000. Le lait. Aptitud de la leche de cabra a la acidificación por fermentos lácticos. Factores relacionados con la composición de la leche. ITPLC, Institut Technique des Produits Laitiers Caprins, Surgères, Francia, Pp 49p.

- 39. MINISTERIO DE AGRICULTURA-OFICINA INFORMACION AGRARIA, Perú**
2002.
- 40. MORA GUTIERREZ, A.; KUMOSINKI, T.F. y FARRELL, H.M., 1999.**
Quantification of casein and goat milk from French-Alpine and Anglo-Nubian breeds using reversed phase high performance liquid chromatography J. Dairy Sci., U.S.A., Pp 3303-3307.
- 41. MULLER, H. G., 1977.** Introducción a la reología de los alimentos. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 174-180.
- 42. OBERMAN, H., 1985.** Tradicional fermented milk products. Elsevier Applied Science Publisher, London, England. Pp 53-54.
- 43. O'CONNOR, D.L., 1994.** Folate in goat milk products with reference to other vitamins and mineral, U.S.A., Pp 143-149.
- 44. ÓZTUR, B. A. y ÖNER, M. D., 1999.** Production and evaluation of yogurt with concentrated grape juice, J. Food Science, Russia, Pp. 530-532.
- 45. PODED, K., 1966.** Compositional elements affecting flavor of cultured dairy foods, J. Dairy Science, Canada, Pp. 3651-3656.
- 46. POTTER, N. N. y HOTCHKISS, J. H., 1995,** Food Science. 5th Edition, Chapman y Hall. Nueva York. E.U.A. Pp. 78-83.
- 47. SANTOS ARBIZA AGUIRRE, 1996,** La leche de cabra. Sus propiedades nutritivas y farmacológicas. Mexico, Pp. 234 -260.
- 48. SARASWAT, B.L. y KUMAR, S., 1992.** Status heavy metáis in goat milk. Proc. V Int. Conference on Goat Nueva Delhi, Pp1864-1868.
- 49. SHAKER, R. R.; JUMAH, R. Y. y ABU-JDAYIL, B., 2000.** Rheological properties of plain yogurt during coagulation process, J. Food

- Engineering, U.S.A., Pp. 175-180.
- 50. SPREER, E.**, 1975. Lactología industrial. 2da. Edición. Editorial Acribia, Zaragoza España. Pp 17-27, 72-79.
- 51. STARK, B. A.**, 1988. Improving the quality of goat milk. Dairy Industries. Nueva York. E.U.A. Pp 23-25.
- 52. SWAISGOOD, H. E.**, 1993. Características de los fluidos líquidos de Origen animal. Editorial Acribia Zaragoza. Pp 889-930.
- 53. TAMIME, A. Y. y ROBINSON, R. K.**, 1985. Yogurt: Science y Technology, E d. Pergamon Press, Oxford, Pp 345-368.
- 54. TAHRI, K.**, 1995. Effects of three strains of Bifidobacterias on cholesterol, Ed. Letters of applied microbiology, Nueva York. E.U.A. Pp. 149-51.
- 55. TEUBER, M.**, 1995. The influence of fermentation on the nutritional quality of dairy products, Nueva York. E.U.A. Pp 43-46.
- 56. VEGA, S.; GUTIERREZ, T. R.; DIAZ, G. G.; GONZALEZ, L. M; RAMIREZ, A. A.; SALAS, M. H.; CORONADO, H. M. y GONZALEZ C. C.**, s/f. Leche de cabra: Producción, composición y aptitud industrial. Alfa editores, España, Ed. Acribia. Pp 50-68.
- 57. VEISSEYRE, ROGER**, 1986. Lactología Técnica, Ed. Acribia, España.
- 58. WETHERBEE, K.** 2002. Want milk Get goats, Mother Earth News, E.U.A., Pp. 30 – 1992.
- 59. LIX FLORES, GICELLA IGREDA.**, 2000. "La Cabrita una experiencia sostenible de producción y transformación ecológica". Disponible en: www.minag.gob.pe, www.piurarural.com/temas/caprino1, consultado el día 01-10-2009.

ANEXOS

Anexo 1: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta aceptabilidad del olor.

Coefficientes de regresión

Término	Coefficientes	Error	t (2)	p	Importancia
Intercepto	6,567	0,167	39,400	0,001	S
X ₁	-0,250	0,102	-2,449	0,134	NS
X ₁ ²	0,004	0,150	0,028	0,980	NS
X ₂	0,100	0,102	0,980	0,431	NS
X ₂ ²	0,004	0,150	0,028	0,980	NS
X ₃	0,075	0,102	0,735	0,539	NS
X ₃ ²	0,304	0,150	2,025	0,180	NS
X ₁ X ₂	-0,075	0,144	-0,520	0,655	NS
X ₁ X ₃	0,025	0,144	0,173	0,878	NS
X ₂ X ₃	-0,025	0,144	-0,173	0,878	NS

Análisis de varianza

Modelo	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	Fc	F ₀	P error
Regresión	0,9967	9	0,1107	0,6175	4,77	0,7506
Residuo	0,8967	5	0,1793			
Falta de ajuste	0,73	3	0,2433	2,92	19,16	0,2654
Error Puro	0,1667	2	0,0833			
Total	1,8933	14				

Anexo 2: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta aceptabilidad del **sabor**.

Coefficientes de regresión

Término	Coefficientes	Error	t(2)	p	Importancia
Intercepto	7,300	0,104	70,136	0,000	S
X₁	-0,346	0,064	-5,432	0,032	S
X₁²	-0,031	0,094	-0,333	0,771	NS
X₂	0,308	0,064	4,824	0,040	S
X₂²	-0,919	0,094	-9,793	0,010	S
X₃	0,241	0,064	3,785	0,063	NS
X₃²	0,074	0,094	0,786	0,514	NS
X₁X₂	0,000	0,090	0,000	1,000	NS
X₁X₃	-0,023	0,090	-0,250	0,826	NS
X₂X₃	-0,320	0,090	-3,550	0,071	NS

Análisis de varianza

Modelo	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	F_e	F_t	P error
Regresión	5,7901	9	0,6433	9,3953	4,77	0,0119
Residuo	0,3424	5	0,0685			
Falta de ajuste	0,2774	3	0,0925	2,8449	19,16	0,2708
Error Puro	0,065	2	0,0325			
Total	6,1325	14				

Anexo 3: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta aceptabilidad de la **consistencia.**

Coefficientes de regresión

Término	Coefficientes	Error	t (2)	p	Importancia
Intercepto	6,9500	0,0577	120,3775	0,0001	S
X₁	-0,2763	0,0354	-7,8135	0,0160	S
X₁²	-0,1138	0,0520	-2,1857	0,1604	NS
X₂	0,2375	0,0354	6,7175	0,0215	S
X₂²	-0,9113	0,0520	-17,5100	0,0032	S
X₃	0,0838	0,0354	2,3688	0,1414	NS
X₃²	0,6663	0,0520	12,8022	0,0060	S
X₁X₂	0,0750	0,0500	1,5000	0,2724	NS
X₁X₃	-0,1325	0,0500	-2,6500	0,1178	NS
X₂X₃	-0,4350	0,0500	-8,7000	0,0130	S

Análisis de varianza

Modelo	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	Fc	Ft	P error
Regresión	7,082	9	0,7869	23,4507	4,77	0,0014
Residuo	0,1678	5	0,0336			
Falta de ajuste	0,1478	3	0,0493	4,9258	19,16	0,1734
Error Puro	0,02	2	0,01			
Total	7,2498	14				

Anexo 4: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta coeficiente de comportamiento reológico (**n**).

Coeficientes de regresión

Término	Coefficientes	Error	t (P)	p	Importancia
Intercepto	0,9293	0,1425	6,5200	0,0227	S
X₁	0,1144	0,0873	1,3108	0,3202	NS
X₁²	-0,1060	0,1285	-0,8253	0,4960	NS
X₂	0,0263	0,0873	0,3011	0,7917	NS
X₂²	0,0098	0,1285	0,0761	0,9463	NS
X₃	0,0174	0,0873	0,1996	0,8602	NS
X₃²	0,0728	0,1285	0,5671	0,6278	NS
X₁X₂	-0,0290	0,1234	-0,2351	0,8360	NS
X₁X₃	0,0733	0,1234	0,5937	0,6129	NS
X₂X₃	0,0706	0,1234	0,5720	0,6250	NS

Análisis de varianza

Modelo	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	Fc	Ft	P error
Regresión	0,2239	9	0,0249	0,7418	4,77	0,6722
Residuo	0,1677	5	0,0335			
Falta de ajuste	0,0458	3	0,0153	0,2504	19,16	0,8573
Error Puro	0,1219	2	0,0609			
Total	0,3915	14				

Anexo 5: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta índice de consistencia (**k**).

Coeficientes de regresión

Término	Coefficientes	Error	t(2)	p	Importancia
Intercepto	2,01	0,01	290,31	0,00	S
X ₁	0,09	0,00	21,78	0,00	S
X ₁ ²	0,00	0,01	0,73	0,54	NS
X ₂	0,00	0,00	0,88	0,47	NS
X ₂ ²	0,11	0,01	17,60	0,00	S
X ₃	-0,06	0,00	-13,48	0,01	S
X ₃ ²	-0,03	0,01	-4,47	0,05	S
X ₁ X ₂	0,00	0,01	-0,29	0,80	NS
X ₁ X ₃	0,02	0,01	3,20	0,09	NS
X ₂ X ₃	0,05	0,01	7,70	0,02	S

Análisis de varianza

Modelo	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	Fc	F ₁	P error
Regresión	0,1545	9	0,0172	10,331	4,77	0,0096
Residuo	0,0083	5	0,0017			
Falta de ajuste	0,008	3	0,0027	18,5185	19,16	0,0517
Error Puro	0,0003	2	0,0001			
Total	0,1628	14				

Anexo 6: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta **Viscosidad absoluta**.

Coeficientes de regresión

Término	Coefficientes	Error	t (2)	p	Importancia
Intercepto	30845,33	1408,06	21,91	0,00	S
X ₁	5055,00	862,26	5,86	0,03	S
X ₁ ²	1852,33	1269,21	1,46	0,28	NS
X ₂	-1240,00	862,26	-1,44	0,29	NS
X ₂ ²	6782,33	1269,21	5,34	0,03	S
X ₃	-4535,00	862,26	-5,26	0,03	S
X ₃ ²	-9167,67	1269,21	-7,22	0,02	S
X ₁ X ₂	3820,00	1219,42	3,13	0,09	NS
X ₁ X ₃	-1470,00	1219,42	-1,21	0,35	NS
X ₂ X ₃	1980,00	1219,42	1,62	0,25	NS

Análisis de varianza

Modelo	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	Fc	Ft	P error
Regresión	997783028,3	9	110864781	28,708	4,77	0,0009
Residuo	19309050,67	5	3861810,1			
Falta de ajuste	7413200	3	2471066,7	0,4155	19,16	0,7621
Error Puro	11895850,67	2	5947925,3			
Total	1017092079	14				

Anexo 7: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta **pH**.

Coeficientes de regresión

Término	Coefficientes	Error	t(2)	p	Importancia
Intercepto	4,0667	0,0333	122,0000	0,0001	S
X₁	-0,0025	0,0204	-0,1225	0,9137	NS
X₁²	-0,0371	0,0300	-1,2342	0,3425	NS
X₂	0,0113	0,0204	0,5511	0,6369	NS
X₂²	0,0304	0,0300	1,0123	0,4179	NS
X₃	0,0113	0,0204	0,5511	0,6369	NS
X₃²	0,0504	0,0300	1,6780	0,2354	NS
X₁X₂	-0,0100	0,0289	-0,3464	0,7621	NS
X₁X₃	0,0400	0,0289	1,3856	0,3001	NS
X₂X₃	0,0525	0,0289	1,8187	0,2106	NS

Análisis de varianza

Modelo	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	Fc	Ft	P error
Regresión	0,0388	9	0,0043	2,4353	4,77	0,1698
Residuo	0,0088	5	0,0018			
Falta de ajuste	0,0022	3	0,0007	0,2175	19,16	0,878
Error Puro	0,0067	2	0,0033			
Total	0,0476	14				

Anexo 8: Valores de coeficientes de regresión para el modelo de regresión y Análisis de varianza del modelo completo, según el diseño factorial de Box-Behnken para la variable respuesta **acidez total**.

Coefficientes de regresión

Término	Coefficientes	Error	t (2)	p	Importancia
Intercepto	1,0333	0,0088	117,1690	0,0001	S
X ₁	0,0512	0,0054	9,4897	0,0109	S
X ₁ ²	0,0221	0,0079	2,7780	0,1088	NS
X ₂	0,0400	0,0054	7,4066	0,0177	S
X ₂ ²	0,0396	0,0079	4,9794	0,0380	S
X ₃	-0,0563	0,0054	-10,4155	0,0091	S
X ₃ ²	-0,0729	0,0079	-9,1725	0,0117	S
X ₁ X ₂	-0,0550	0,0076	-7,2012	0,0187	S
X ₁ X ₃	-0,0325	0,0076	-4,2552	0,0510	NS
X ₂ X ₃	0,0100	0,0076	1,3093	0,3206	NS

Análisis de varianza

Modelo	Suma de cuadrados	grados de libertad	cuadrado medio	F _c	F _t	P error
Regresión	0,1053	9	0,0117	6,2290	4,77	0,029
Residuo	0,0094	5	0,0019			
Falta de ajuste	0,0089	3	0,0030	12,7500	19,16	0,0736
Error Puro	0,0005	2	0,0002			
Total	0,1147	14				

Anexo 9: Hoja de evaluación de panel sensorial

PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO (PRUEBA HEDÓNICA)

Nombre: Fecha:

INSTRUCCIONES: pruebe la muestra e indique con una "x" su nivel de agrado, de acuerdo con la escala que se presenta a continuación:

	GRADO DE ACEPTABILIDAD	SABOR	AROMA	CONSISTENCIA
9	GUSTA MUCHÍSIMO			
8	GUSTA MUCHO			
7	GUSTA MODERADAMENTE			
6	GUSTA UN POCO			
5	INDIFERENTE			
4	DISGUSTA UN POCO			
3	DISGUSTA MODERADAMENTE			
2	DISGUSTA MUCHO			
1	DISGUSTA MUCHÍSIMO			

Observaciones: _____
