

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

### **OBTENCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO A PARTIR DE SUERO DE LECHE MEDIANTE UN PROCESO BIOFERMENTATIVO UTILIZANDO UN CULTIVO MESÓFILO HOMOFERMENTATIVO**

#### **PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**JUAN FERNANDO ROBALINO PUENTE**

juan.robolino@quinotto.net.

**DIRECTOR: ING. MAURICIO MOSQUERA, hD**

mauricio.mosquera@epn.edu.ec.

**Quito, junio 2017**

©Escuela Politécnica Nacional (2016)  
Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo, Juan Fernando Robalino Puente, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Juan Fernando Robalino Puente

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Fernando Robalino Puente bajo mi supervisión

---

Mauricio Mosquera, PhD.

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

## DEDICATORIA

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>RESUMEN</b>	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xi</b>
<b>1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1. Industria láctea en el Ecuador	1
1.1.1. Leche	3
1.1.1.1. Propiedades fisicoquímicas	3
1.1.1.2. Composición química de la leche	4
1.1.1.3. Proteínas	4
1.1.1.4. Hidratos de carbono	6
1.1.1.5. Lípidos	6
1.1.2. Queso	7
1.1.2.1. Elaboración	8
1.1.2.2. Información nutricional	10
1.1.2.3. Clasificación del queso	11
1.1.3. Otros productos lácteos	12
1.1.3.1. Yogur	12
1.1.3.2. Mantequilla	12
1.2. Subproductos generados a partir del suero de leche	13
1.2.1. Suero de leche	13
1.2.1.1. Composición nutricional	14
1.2.1.2. Proteínas del suero	14
1.2.2. Suero en la alimentación bovina y porcina	15
1.2.3. Bebidas de suero	15
1.2.4. Suero como suplemento deportivo	15
1.2.3. Otros	16
1.3. Producción de ácido láctico	17
1.3.1. Vías de obtención	18
1.3.2. Usos industriales	18
1.3.3. Producción biotecnológica	20
<b>2 PARTE EXPERIMENTAL</b>	<b>22</b>
2.1. Selección del cultivo homofermentativo que permita la mayor obtención de ácido láctico, entre los cultivos comerciales R-704, R-703 y R-708 de HANSEN	22
2.1.1. Muestreo del suero de leche	22
2.1.2. Caracterización del suero	23
2.1.3. Inoculación y fermentación de los cultivos	23
2.1.4. Acidez titulable	23

2.2.	Efecto de la concentración y el tiempo de incubación del cultivo en la producción de ácido láctico y determinación del modelo cinético que mejor describa el proceso	24
2.2.1.	Fermentación	24
2.2.2.	Modelos cinéticos	24
2.3.	Evaluación técnico-financiera de la producción de ácido láctico a partir de suero de leche	25
2.3.1.	Definición del producto	25
2.3.2.	Capacidad y localización de la planta	26
2.3.3.	Disponibilidad de materia prima e insumos	29
2.3.4.	Diseño del proceso	27
2.3.5.	Diseño básico de la planta	27
2.3.6.	Evaluación financiera	27
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>29</b>
3.1.	Selección del cultivo homofermentativo que permita la mayor obtención de ácido láctico entre los cultivos comerciales R-704, R-703 y R-708 de Hansen	29
3.1.1.	Caracterización del suero	29
3.1.2.	Fermentación de cultivos y acidez	31
3.2.	Efecto de la concentración y el tiempo de incubación del cultivo en la producción de ácido láctico y determinación del modelo cinético que mejor describa el proceso	32
3.2.1.	Fermentación	33
3.2.2.	Modelos cinéticos	36
3.3.	Evaluación técnico-financiera de la producción de ácido láctico a partir de suero de leche	38
3.3.1.	Definición del producto	38
3.3.2.	Capacidad y localización de la planta	38
3.3.3.	Disponibilidad de materia prima e insumos	39
3.3.4.	Diseño del proceso	40
3.3.5.	Diseño básico de la planta	42
	3.3.5.1. Balance de masa	42
	3.3.5.2. Balance de energía	42
	3.3.5.3. Dimensionamiento de equipos	44
	3.3.5.4. Distribución de áreas	46
3.3.6.	Evaluación financiera	48
	3.3.6.1. Inversiones	48
	3.3.6.2. Costos de operación	50
	3.3.6.3. Punto de equilibrio	55



<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>58</b>
4.1.	Conclusiones	58
4.2.	Recomendaciones	59
<b>5</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>60</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>69</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

		<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.1.</b>	Composición de la leche de vaca	4
<b>Tabla 1.2.</b>	Composición del suero lácteo	14
<b>Tabla 1.3.</b>	Composición del suero en polvo	16
<b>Tabla 2.1.</b>	Métodos de análisis empleados en la caracterización del suero de leche	23
<b>Tabla 2.2.</b>	Propiedades físico-químicas del ácido láctico	26
<b>Tabla 3.1.</b>	Caracterización química (%) del suero de leche	29
<b>Tabla 3.2.</b>	Resultados de las pruebas físicas: peso, volumen y color	30
<b>Tabla 3.3.</b>	Perfil lipídico del suero lácteo	30
<b>Tabla 3.4.</b>	Balance de masa del proceso de elaboración de ácido láctico	42
<b>Tabla 3.5.</b>	Inversión en maquinaria y equipo para la planta de producción de ácido láctico	48
<b>Tabla 3.6.</b>	Inversión en terreno y construcciones para la planta de producción de ácido láctico	49
<b>Tabla 3.7.</b>	Inversión en equipos y muebles para la planta de producción de ácido láctico	49
<b>Tabla 3.8.</b>	Activos diferidos a para la planta de producción de ácido láctico 10 años	49
<b>Tabla 3.9.</b>	Inversión total para la planta de producción de ácido láctico	50
<b>Tabla 3.10.</b>	Materiales directos para la producción de ácido láctico	51
<b>Tabla 3.11.</b>	Pagos a mano de obra indirecta	51
<b>Tabla 3.12.</b>	Materiales indirectos	51
<b>Tabla 3.13.</b>	Suministros	51
<b>Tabla 3.14.</b>	Depreciaciones	52

<b>Tabla 3.15.</b>	Reparaciones, mantenimiento y seguros	52
<b>Tabla 3.16.</b>	Costos anuales de producción	52
<b>Tabla 3.17.</b>	Gastos del personal administrativo	53
<b>Tabla 3.18.</b>	Gastos del personal de ventas	54
<b>Tabla 3.19.</b>	Gastos en promoción y publicidad	54
<b>Tabla 3.20.</b>	Costo unitario de la garrafa de 2,5 L de ácido láctico	54
<b>Tabla 3.21.</b>	Flujos de caja	56
<b>Tabla 3.22.</b>	Indicadores VAN y TIR	57
<b>Tabla AIV.1.</b>	Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-703	75
<b>Tabla AIV.2.</b>	Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704	75
<b>Tabla AIV.3.</b>	Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-708	75
<b>Tabla AV.1.</b>	Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704 a una concentración del 0,01 %	76
<b>Tabla AV.2.</b>	Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704 a una concentración del 0,05 %	76
<b>Tabla AV.3.</b>	Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704 a una concentración del 0,10 %	76
<b>Tabla AVI.1.</b>	ASimulación de la producción de ácido láctico y biomasa en el proceso de fermentación con el cultivo R-704	78



## ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
<b>Figura 1.1.</b>	Destino de la leche en la industria	2
<b>Figura 1.2.</b>	Micela	6
<b>Figura 1.3.</b>	Proceso de elaboración de queso	8
<b>Figura 1.4.</b>	Lira para el corte de la cuajada	10
<b>Figura 1.5.</b>	Especificaciones de la calidad del ácido láctico en la industria farmacéutica y alimenticia	17
<b>Figura 1.6.</b>	Usos comerciales y aplicaciones de ácido láctico	19
<b>Figura 2.1.</b>	Diseño del experimento	21
<b>Figura 3.1.</b>	Acidez en las muestras de suero tras la fermentación con los cultivos R-703, R-704 y R-708 a 24 °C durante 24 horas	31
<b>Figura 3.2.</b>	Producción de ácido láctico con el cultivo CHR Hansen R-704 a una concentración del 0,01 %	33
<b>Figura 3.3.</b>	Producción de ácido láctico con el cultivo CHR Hansen R-704 a una concentración del 0,05 %	34
<b>Figura 3.4.</b>	Producción de ácido láctico con el cultivo CHR Hansen R-704 a una concentración del 0,10 %	34
<b>Figura 3.5.</b>	Cinética de la producción de ácido láctico ( $\text{g L}^{-1}$ ) con el modelo logístico	37
<b>Figura 3.6.</b>	Cinética de la producción de biomasa con la ecuación de Leudekin y Piret	37
<b>Figura 3.7.</b>	Microlocalización de la planta productora de ácido láctico	39
<b>Figura 3.8.</b>	Garrafa de 2,5 L	40
<b>Figura 3.9.</b>	Diagrama de bloques (BFD), producción de ácido láctico	41
<b>Figura 3.10.</b>	Layout de la planta productora de ácido láctico	47
<b>Figura 3.11.</b>	Punto de equilibrio	55

<b>Figura AI.1.</b>	Lactosuero	69
<b>Figura AI.2.</b>	Pesaje del cultivo CHR Hansen R-704	69

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b> Fotografías de la investigación	70
<b>ANEXO II</b> Ficha técnica del cultivo CHR Hansen R-703	71
<b>ANEXO III</b> Ficha técnica del cultivo CHR Hansen R-704	73
<b>ANEXO IV</b> Resultados de acidez obtenida tras la fermentación con los cultivos comerciales R-703, R-704 y R-708	75
<b>ANEXO V</b> Resultados de acidez obtenida tras la fermentación con los cultivos R-704 a diferentes concentraciones	76
<b>ANEXO VI</b> Resultados de la simulación del proceso fermentativo	78
<b>ANEXO VII</b> Hojas de especificaciones técnicas de los equipos	79

## RESUMEN

Este proyecto se realizó con el fin de utilizar el suero lácteo residual del proceso de elaboración de queso de la Industria Quesera Guerrero, localizada en la provincia de Pichincha, cantón San Miguel de los Bancos, como materia prima para la obtención de ácido láctico, para lo cual, se realizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones para evaluar la producción de ácido láctico entre los cultivos CHR Hansen R-703, R-704 y R-708 tras un proceso de fermentación a 24 °C durante 24 horas, con una concentración del 0,01 %. En el líquido resultante, se determinó la acidez titulable a través del método AOAC 942.15. A continuación, se realizó un diseño factorial 3×10, en el cual se evaluó la producción de ácido láctico bajo los parámetros de concentración y tiempo. Los niveles probados en el factor concentración fueron de: 0,01; 0,05 y 0,10 % del peso del microorganismo mesófilo homofermentativo y los tiempos de 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 16, 20 y 24 horas. Se evaluó la concentración de ácido láctico generado en función del tiempo y se aplicaron los modelos cinéticos de crecimiento logístico (o de Verhulst) y la ecuación de Leudekin y Piret, se los comparó y relacionó con la producción de ácido láctico. Se concluyó que el mejor cultivo para la producción de ácido láctico es el R-704 a una concentración del 0,01%, a condiciones de tiempo y temperatura de 24 horas y 37 °C, obteniendo así 60,6 g de ácido láctico/L de suero. Adicionalmente, se hizo una simulación con la que se determinó que la ecuación que mejor describe la producción del metabolito es la de Leudekin y Piret. Conforme a la posibilidad de utilizar el suero desechado por la Industria Guerrero para la producción de ácido láctico, con base en los índices financieros VAN y TIR (\$ -2 242 142,95 y -30,76 %) se concluyó que el proyecto no es viable.



## INTRODUCCIÓN

El queso es el producto lácteo de mayor importancia a nivel mundial (FAO, 2014, p. 1). En el Ecuador, tiene gran relevancia en la gastronomía de la Costa y Sierra (Vizcarra, Lasso y Tapia, 2015, p. 51). Desde el año 2006 hasta el año 2015, el consumo per cápita anual de queso en el Ecuador incrementó de 0,75 kg a 1,61 kg (Vizcarra et al., 2015, p. 139; Ramírez, 2015, p. 1). Su producción genera como principal subproducto al suero de leche (Bedolla, 2004, pp. 37-38), de modo que, por cada kilogramo de queso elaborado se generan alrededor de 9 litros de suero, obteniéndose anualmente en el país un aproximado de  $2,12 \times 10^8$  litros de lactosuero (Hernández y Vélez, 2014, p. 14). Sin embargo, el alto contenido de lactosa en esta sustancia, la convierte en un producto inapropiado para el consumo humano directo (Hurtado, 2014, p. 60).

En la actualidad, este residuo es llevado a plantas de tratamiento de aguas, en las cuales, la parte sólida resultante es empleada en el compostaje y la fase líquida se emplea como fertilizante en pastos, o bien es desechado a efluentes líquidas, o como alimento para ganado porcino (Sánchez et al., 2009, p. 68; Urribarri et al., 2004, p. 298; Villegas, 2013, p. 58).

Países industrializados lo utilizan para la elaboración de suero en polvo, lactosa hidrolizada y proteína comestible (Onwulata y Huth, 2008, pp. 2-3). No obstante, puede emplearse como materia prima en la elaboración de ácido láctico, el cual posee diversas aplicaciones en industrias farmacéuticas, cosméticas, químicas y alimentarias (García, Arrázola y Durango, 2010, p. 10). Además, la posibilidad de transformarlo en un polímero biodegradable ha dirigido las investigaciones a la disminución de los costos de producción a través de nuevos microorganismos que permitan generar altas concentraciones de ácido láctico y, por tanto, altos rendimientos (Serna y Rodríguez, 2005, p. 54).

Se han mostrado diversos resultados en la producción de ácido láctico por fermentación, en función del sustrato y el microorganismo empleado. Es así que,

utilizando una cepa de *Lactobacillus helveticus* se obtuvo una producción de ácido de 10,97 g L<sup>-1</sup> (Urribarrí et al., 2004). Por otra parte, en un medio enriquecido con 10 g L<sup>-1</sup> azúcar, 15 g L<sup>-1</sup> leche de soya, 150 g L<sup>-1</sup> suero de leche, 15 g L<sup>-1</sup> salvado de trigo, utilizando como microorganismo al *Lactobacillus plantarum*, se obtuvo una producción de 17,66 g L<sup>-1</sup> (Jurado, Ramírez y Aguirre, 2013), finalmente, uno de los rendimientos más altos alcanzados corresponde al estudio realizado por Escobar, Rojas, Giraldo y Sanabria (2010), en el que se utilizó *Lactobacillus casei* para la obtención de ácido láctico, donde se registró una producción de 70,39 g L<sup>-1</sup>.

En este trabajo, se ha planteado aprovechar el lactosuero residual de la industria Guerrero e Hijos del cantón San Miguel de los Bancos, para la obtención de ácido láctico mediante un proceso biofermentativo utilizando un cultivo mesófilo homofermentativo comercial, considerando además la factibilidad técnico-financiera para la creación de una planta procesadora de dicho producto. Adicionalmente, se deriva como un aporte a la comunidad científica en la búsqueda de nuevos microorganismos al incursionar en la fermentación con cultivos comerciales.

# 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

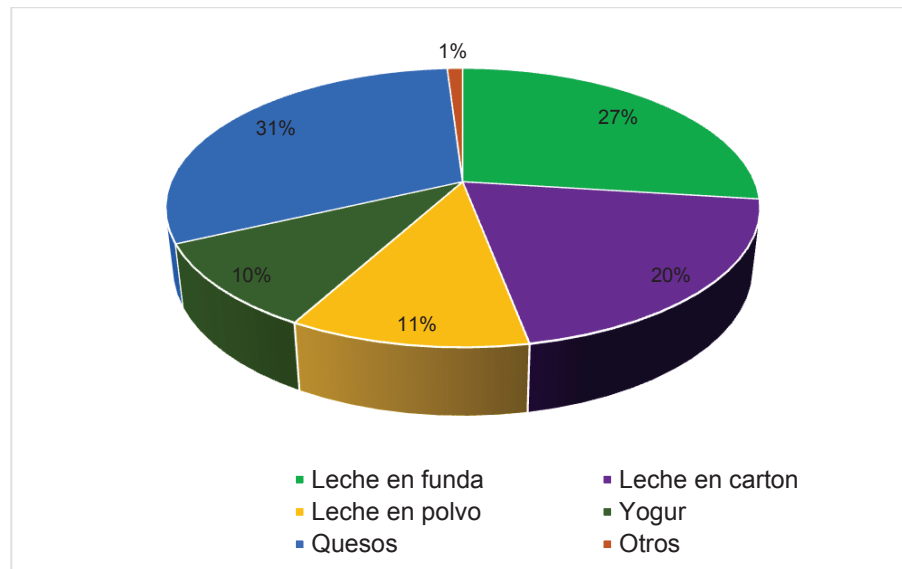
## 1.1. INDUSTRIA LÁCTEA EN EL ECUADOR

La leche es uno de los principales productos agropecuarios en el Ecuador. La industria láctea en el país tuvo sus inicios en el año de 1900. Para el año 1940 se crearon las primeras estaciones experimentales que hoy constituyen el INIAP, y entre 1948 y 1950, con la implementación del proceso de pasteurización, se dio inicio a la industrialización. El nacimiento de esta industria constituye un importante eslabón que ha permitido el desarrollo del comercio (Real, 2013, p. 36; Vizcarra, Lasso y Tapia, 2015, p. 37). Desde una perspectiva económica y social, la industria láctea es una fuente significativa de ingresos y empleos directos e indirectos para un gran número de familias en el Ecuador (Barragán, 2010, p. 1).

La producción nacional de este recurso es de 5 490 374 ± 200 000 L de leche/día, de los cuales el 75,43 % proviene de la región Sierra, el 16,57 % de la región Costa y el 8 % restante de la Amazonía y Galápagos (INEC, 2014, p. 9). En la sierra, la provincia de Pichincha ha desarrollado la mayor parte de la producción, comercialización e industrialización de la leche (Vizcarra et al., 2015, p. 51).

La industria láctea demanda 2 603 148 L/día, es decir el 48 % de la producción nacional, de lo cual se destina el 31 % a la fabricación de queso, el 10 % a la fabricación de yogur, el 11 % a la leche en polvo, el 48 % a la leche en funda y en cartón, y el 1 % en elaboración de otros productos, esto se puede observar en la Figura 1.1 (Villegas, 2013, p. 45). El restante de la producción, se queda en las haciendas para el autoconsumo, fabricación de productos artesanales y alimentación de los terneros (INEC, 2014, p. 9; Villegas, 2013, p. 45).

Según la Asociación de Ganaderos de la Sierra y el Oriente (AGSO), aproximadamente 3,5 millones de hectáreas se destinan a la producción de leche; con 298 mil productores, de los cuales, la gran mayoría son pequeños y medianos, con propiedades menores a 100 hectáreas (INEC, 2014, p. 9).



**Figura 1.1.** Destino de la leche en la industria (Villegas, 2013, p. 45)

El Centro de la Industria Láctea o CIL del Ecuador, acoge y representa legalmente a las industrias más importantes. Entre estas industrias están: Floralp S.A., Lechera Andina S.A., Agrícola Ganadera Reybanpac (Reyleche), Nestlé S.A., Industrias Lácteas Toni S.A., y Alpina Productos Alimenticios (CIL, 2016, p. 1).

Empresas lácteas como la Pasteurizadora Quito S.A., El Salinerito, Lácteos San Antonio (Nutri), ECOLAC, Prolachiv S.A. (Chivería), la Escuela Superior Politécnica de Manabí (ESPAM), la Universidad Técnica de Manabí extensión de Chone, y El Ordeño S.A., son las medianas industrias más relevantes del país. En su mayoría, estas industrias trabajan conjuntamente con los pequeños productores, logrando entre las grandes, medianas y pequeñas empresas satisfacer la demanda local (Vizcarra et al., 2015, pp. 58–120).

El mejoramiento de los procesos en las industrias lácteas, ha permitido que se pueda llegar incluso a mercados internacionales, entre estos, Venezuela, Colombia y Perú, bajo distintas presentaciones. Así mismo, los derivados lácteos, han alcanzado mercados como Estados Unidos, Costa Rica, Panamá, Bolivia, Chile, Cuba y Rusia, generando importantes ingresos económicos al país y contribuyendo al cambio en la matriz productiva (El Teléfrago, 2015, p. 1; MCPE, 2014, p. 1).

### **1.1.1. LECHE**

Biológicamente, la leche es la secreción de las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos cuya principal función es satisfacer los requerimientos nutricionales de la cría (Gil, 2010, p. 3).

Ansorena et al. (2003) completa esta definición especificando que es el producto íntegro, no alterado ni adulterado que se obtiene 48 horas después de la emisión del calostro (p. 70).

Es uno de los alimentos más completos y nutritivos al ser una fuente rica en proteínas, grasas, vitaminas y minerales. En la actualidad, la leche y sus derivados son el grupo de alimentos de mayor consumo a nivel mundial, tomando en cuenta que la denominación: “leche”, se aplica única y exclusivamente a aquella de origen vacuno (Badui, 2006, p. 603).

#### **1.1.1.1. Propiedades fisicoquímicas**

En su estado natural, la leche presenta una coloración blanquecina y opaca que puede o no estar matizada por la mayor o menor cantidad de carotenos presentes en la materia grasa. Su sabor es ligeramente dulce, debido a la presencia de lactosa. Su pH evaluado a 20 °C es de 6,5 a 6,8; con una acidez titulable (°D) de 16 a 18, un peso específico de aproximadamente 1,030 g/mL pudiendo oscilar entre 1,028 y 1,036 g/mL, y un punto de congelación y ebullición de -0,54 °C y 100,17 °C, respectivamente (Gil, 2010, pp. 3–4).

La leche es además, una mezcla compleja de distintas sustancias distribuidas en un medio acuoso, formando tres fases que son: emulsión, en la que se encuentran las grasas; suspensión coloidal con las proteínas (principalmente la caseína) al formar unas estructuras denominadas micelas, y disolución verdadera en la cual se encuentran la lactosa, los minerales y las proteínas que no están en

suspensión coloidal (Gil, 2010, p. 3).

### 1.1.1.2. Composición química de la leche

La composición química de la leche se encuentra estrechamente relacionada con la especie, raza, alimentación y estado de salud del animal. Sin embargo, existen márgenes establecidos por la legislación alimentaria para cada tipo de leche. La leche de vaca tiene un contenido de agua del 87 al 88 % y sólidos totales entre el 12 y 13 %. En el grupo de los sólidos totales, se encuentran las grasas en un 3 o 4 %, proteínas en un 3,5 % e hidratos de carbono en un 4,8 %. Esto se puede observar detalladamente en la Tabla 1.1 (Ansorena et al., 2003, pp. 74–75; Badui, 2006, p. 605).

**Tabla 1.1.** Composición de la leche de vaca

Parámetro		Valor (%)	
<b>Sólidos totales</b>		<b>12,650</b>	
Proteína	caseínas	2,780	
	Suero de leche	$\alpha$ -lactalbúmina	0,063
		$\beta$ -lactoglobulina	0,251
		inmunoglobulinas	0,051
		seroalbúmina	0,040
		lactoferrinas	0,038
		otras	0,027
Grasa		3,760	
Hidratos de Carbono	lactosa	4,700	
	otras	0,140	
Sales		0,800	
<b>Agua</b>		<b>87,350</b>	

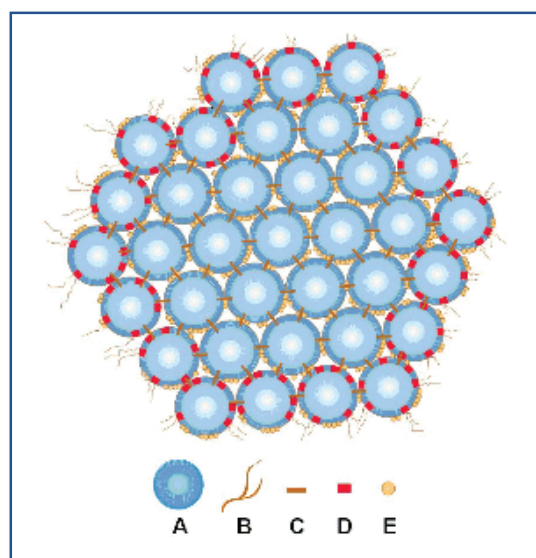
(Badui, 2016, p. 605)

### 1.1.1.3. Proteínas

En la leche se pueden encontrar dos grupos de compuestos nitrogenados, las proteínas y las sustancias no proteicas (nnp, nitrógeno no proteico). De los compuestos nitrogenados destacan dos grupos que son las caseínas y las proteínas del suero, las cuales se presentaron previamente en la Tabla 1.1 (Gil, 2010, p. 5).

### Caseína

Grupo constituyente de la leche animal y humana que ocupa un 80 % de la totalidad de proteínas. Las caseínas se dividen en cuatro sub-grupos, caseínas del tipo  $\alpha_{s1}$ ,  $\alpha_{s2}$ ,  $\beta$  y  $\kappa$ . Las cuatro son heterogéneas y tienen entre 2 u 8 variantes genéticas. Las caseínas se agrupan en forma de polímeros, complejo al cual se denomina micelas. Las micelas consisten en un grupo de alrededor de 400 a 500 sub-micelas de un diámetro de 10 a 25 nm. Las caseínas  $\alpha$  y  $\beta$ , de carácter hidrofóbico, conforman el núcleo de la micela. Estas se encuentran esterificadas por el ácido fosfórico, el cual se une al calcio (Ca) y magnesio (Mg) para formar enlaces. En la superficie de la micela, se sitúan las  $\kappa$ -caseínas. Estas interacciones resultan en una estructura más o menos esférica que es soluble en agua. Esto se ilustra en la Figura 1.2 (Wageningen, 2014, p.1)



**Figura 1.2.** Micela. Donde A: Submicela; B: Grupos Carbonatados; C: Puentes fosfatos de calcio; D: k-caseína y E: Grupos fosfatos  
(Wageningen, 2014, p. 1)

Adicionalmente, las micelas presentan las siguientes características:

- Tienen carga neta negativa, que origina la repulsión entre ellas
- Son termoestables
- Inestables a pH bajo en presencia de cationes divalentes, y
- Precipitan por la acidificación del medio hasta un pH de 4,6; valor que corresponde a su punto isoeléctrico (Ansorena et al., 2003, p. 80).

#### **1.1.1.4. Hidratos de carbono**

En el grupo de los hidratos de carbono se encuentra principalmente la lactosa, seguida de pequeñas cantidades de glucosa, galactosa, sacarosa y trazas de cerebrósidos y amino azúcares derivados de la hexosamina (Badui, 2006, p. 608).

#### **Lactosa**

La lactosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y otra de galactosa mediante un enlace glucosídico  $\beta$ -1,4. Se sintetiza en la glándula mamaria de la hembra mamífera y tiene apenas el 15 % del poder edulcorante de la sacarosa, que combinado con las sales brindan el sabor característico a la leche (Badui, 2006, p. 608; Infante, 2008, p. 103).

#### **1.1.1.5. Lípidos**

Del 96 al 98 % de los lípidos presentes en la leche corresponden al grupo de los triacilglicéridos, el resto son diacilglicéridos, monoacilglicéridos, fosfolípidos, ácidos grasos libres, colesterol, hidrocarburos y ésteres de esteroides. En la composición de la leche, se han llegado a identificar más de 400 ácidos grasos diferentes, destacando los de cadena corta, en especial el ácido butírico, el cual



es valioso en la industria para la fabricación de mantequilla, puesto que prácticamente solo se lo encuentra en este alimento (Ansorena et al., 2003, p. 77; Badui, 2006, p. 606).

### **1.1.2. QUESO**

La Norma NTE INEN 1528, describe al queso como un producto blando, semiduro, duro o extra duro, madurado o no madurado, que se obtiene por la coagulación total o parcial de la caseína presente en la leche, por acción de enzimas (cuajo) u otros coagulantes idóneos, dando como resultado la separación del suero como efecto de la coagulación (2012, p. 1).

Desde un inicio, la elaboración de queso tuvo como objetivo principal la preservación de los nutrientes de la leche que involucra las grasas, proteínas, vitaminas y minerales. En la actualidad, su producción ha sufrido grandes cambios hasta convertirse en una tecnología industrial (Ramírez y Vélez, 2012, p. 132).

El queso es un alimento consumido en todo el mundo, siendo los mercados de Estados Unidos y Europa los líderes en la producción y el consumo de este producto lácteo (Quezada, 2013, p. 1).

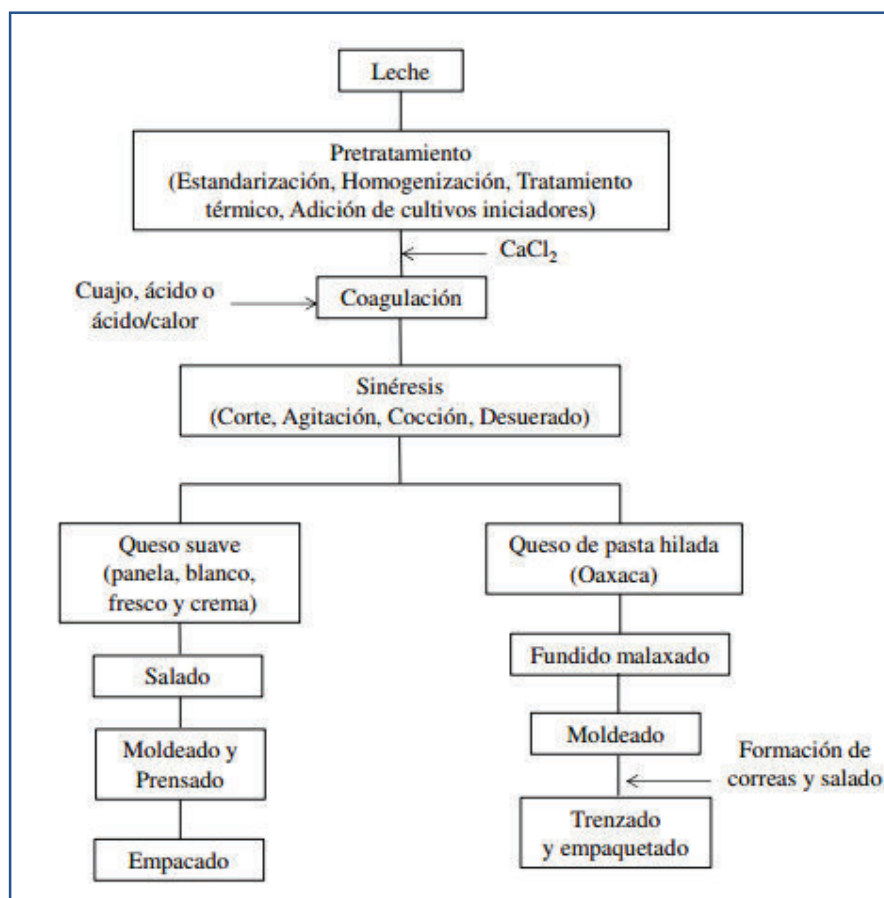
En el Ecuador existe una gran variedad de quesos, entre ellos destacan los siguientes:

- Queso amasado: presenta una consistencia granulosa. Se realiza a partir del queso fresco el cual, posterior al salado, es procesado en un molino de granos.
- Queso manaba: caracterizado por ser escurrido en una bolsa de paño y amasado en una “batea” de madera.
- Queso de hoja: de sabor similar al mozzarella, es un tipo de queso que se caracteriza por siempre estar envuelto en una hoja verde de achira (Vizcarra et al., 2015, pp. 166–168).

El queso y sus variedades locales forman parte indispensable de la gastronomía e identidad de las provincias de la Sierra y Costa ecuatoriana. En cuanto al consumo, es el queso fresco el preferido por los ecuatorianos, seguido del queso mozzarella, queso crema, madurados, entre otros (Vizcarra et al., 2015, p. 165).

### 1.1.2.1. Elaboración

El proceso resumido de la elaboración del queso se puede apreciar en la Figura 1.3



**Figura 1.3.** Proceso de elaboración de queso  
(Ramírez y Vélez, 2012, p. 133)

Previo a la fabricación del queso es necesario someter la leche a un pretratamiento que involucra la estandarización, homogenización, un tratamiento

térmico y la adición de fermentos, sean estos mesófilos o termófilos. El queso puede ser obtenido por dos métodos: la coagulación enzimática, y la coagulación ácida.

La coagulación enzimática se divide en dos partes, una primaria que es la hidrólisis enzimática y otra la agregación. Durante la primera etapa la k-caseína es cortada por acción de la quimosina presente en el cuajo en el enlace Phe<sub>105</sub> – Met<sub>106</sub> dando origen a una parte hidrofóbica (para-k-caseína) y una hidrofílica (caseinmacropeptido). Como resultado se reducen las cargas negativas netas y se da una repulsión esteárica, de modo que las micelas modificadas son susceptibles a la agregación (Sbodio y Revelli, 2012, p. 1).

### **K-caseína (kappa caseína)**

Caseína soluble en presencia de iones calcio que funciona como una interfaz entre las caseínas hidrófobas del interior de la micela y el medio ambiente acuoso. Presenta carácter hidrófilo debido a la presencia de trisacáridos y grupos carbonilos. Está implicada en reacciones químicas de intercambio durante tratamientos calóricos y es facilitador de la coagulación de las micelas (Guevara, Cuartas y Naranjo, 2013, p. 30)

### **Cuajo**

Sustancia extraída de la cuarta cavidad estomacal (abomaso) de los rumiantes, compuesta de 2 enzimas: la quimosina y la pepsina. Es incorporado a la leche por su acción sobre la caseína provocando una floculación de la leche y posteriormente la formación de un bloque gelatinosos y homogéneo cuya trama está formada por el calcio (Ca) (Barioglio, 2009, p. 95).

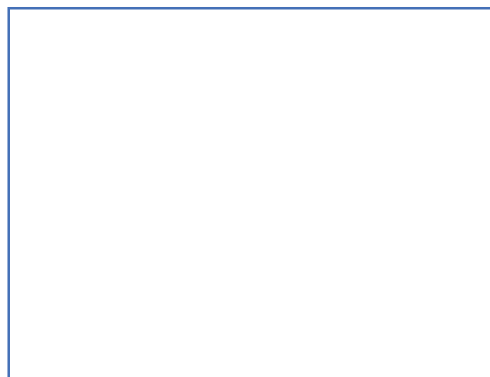
### **Quimosina**

Denominada también rennina, es la enzima responsable de la acción proteolítica ejercida sobre la k-caseína. Su punto isoeléctrico es a un pH de 5,3 y su mayor efectividad la alcanza a pH de 3,8 a 4,0. Esta enzima rompe los enlaces peptídicos del fosfocaseinato de calcio y lo transformará en fosfoparacasinato de calcio, el cual es muy inestable y sensible al calcio libre lo que permite la formación del coágulo y su precipitación (Mariño, Vasek y Fusco, 2005, p. 1).

La leche puede ser también acidificada con fermento de lactosa a ácido láctico, o por la adición directa de ácidos como el clorhídrico, acético y cítrico. La acidificación va acompañada de una desmineralización de las micelas. Consiste en la precipitación de la caseína posterior a la llegada al punto isoeléctrico (pH = 4,6) debido al desbalance generado en la fase coloidal por la igualdad de cargas en el medio, con lo cual la caseína precipita. No forma un gel homogéneo, más bien es uno liso, friable y poco contráctil (Lucey y Singh, 2003, p. 1).

Una vez concluida la coagulación, se procede al desuerado con el fin de permitir la salida del suero presente en el coagulo, para ello se divide el coagulo en numerosas partes con la lira (Figura 1.4) con el fin de aumentar la superficie de desuerado y por lo tanto favorecer a la evacuación del mismo, obteniendo aproximadamente 9 litros de suero por cada kg de queso elaborado. A continuación, se realiza el moldeado, prensado, salado y maduración (Franklin, 2011, p. 37).

En la actualidad se estiman más de 2 000 variedades de quesos entre maduros, semimaduros y frescos, que pueden o no incluir especias, condimentos y adobos, en un porcentaje no mayor al 10 % (Franklin, 2011, p. 35).





**Figura 1.4.** Lira para el corte de la cuajada  
(Isique, 2014, p.38)

### 1.1.2.2. Información nutricional

Su contenido de proteína varía entre el 8 % y el 40 % dependiendo si es fresco o maduro, respectivamente. La grasa está relacionada al contenido inicial de grasa en la leche (materia prima), de modo que un queso elaborado a partir de leche entera, tendrá un contenido de grasa mayor a uno procedente de leche descremada. Así mismo, hay una relación entre la cantidad de suero o humedad presente en el queso, de modo que cuan mayor es esta, menor es la cantidad de grasa presente (Ansorena et al., 2003, pp. 96–97).

En relación a minerales y vitaminas, es rica en calcio, fósforo, sodio, vitaminas B1 y B2 (Ansorena et al., 2003, pp. 96–97)

### 1.1.2.3. Clasificación del queso

Existen diversos criterios de clasificación, entre los principales se tiene:

- Contenido de humedad: sean estos suaves (55 %), semiduros (del 44 al 55 %) o duros, con una humedad del 20 al 42 %.
- Estado de maduración: pueden ser frescos (6 días), semimadurados (40 días) y madurados ( mayor a 70 días) (Ramírez y Vélez, 2012, p. 134).
- Contenido de grasa: doble graso (mínimo 60 % de materia grasa/sustancia

seca), extra graso (mínimo 45 % de materia grasa/sustancia seca), graso (mínimo 40 % de materia grasa/sustancia seca), semigraso (mínimo 25 % de materia grasa/sustancia seca) y magro (menos del 25 % de materia grasa/sustancia seca) (Ansorena et al., 2003, p. 96).

### **1.1.3. OTROS PRODUCTOS LÁCTEOS**

El yogur, mantequilla, el dulce de leche, leche en polvo y leche condensada también forman parte de la alimentación ecuatoriana. El principal producto entre ellos es el yogur, con un consumo *per cápita* para el año 2015 de 4,54 L, mientras que el resto suman un consumo anual de 0,79 kg (Ramírez, 2015, p. 1).

Aproximadamente 15 entidades entre pequeñas, medianas y grandes industrias satisfacen la demanda del mercado local, destacándose Industrias Lácteas Tony con un 48 % de participación (ARCSA, 2017, p. 1).

#### **1.1.3.1. Yogur**

El yogur es el resultado de la fermentación de la leche mediante las bacterias *Lactobacillus delbrueckii sub. Bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* (Gil, 2010, p. 17). El *Lactobacillus delbrueckii sub. Bulgaricus* corta la cadena proteica de la caseína y los restos de aminoácidos, se convierten en el alimento del *Streptococcus thermophilus*. De este modo, la multiplicación del estreptococo se ve favorecida tornando el ambiente básico de la leche en uno ácido, lo cual, a su vez, brinda las condiciones necesarias para el crecimiento del *Lactobacillus*, hasta llegar a un equilibrio en el desarrollo de las dos bacterias. La acidez en el medio, permite además la floculación brindando a este producto su consistencia y sabor característicos (De Franco, 2016, p. 10).

#### **1.1.3.2. Mantequilla**

La mantequilla se fabrica a partir de la nata. Los glóbulos grasos que se encuentran en estado de emulsión en la leche, a través de una acción mecánica como el batido, cambian a un estado de “agua en grasa”, consecuentemente la grasa se concentra y se elimina gran parte de la fase acuosa de la nata, logrando un contenido del 80 % de grasa de la leche (Romero y Mestres, 2011, p. 38).

## **1.2. SUBPRODUCTOS GENERADOS A PARTIR DEL SUERO DE LECHE**

La aplicación de procesos de bioconversión en el suero de leche hace posible la obtención de productos con un alto valor comercial, además de generar un beneficio social y ambiental para la sociedad (Jakymec, Moran, Páez, y Ferrer, 2001, p. 53).

Anualmente, se producen en el mundo cerca de 185 millones de toneladas de suero. Tan solo Europa y Estados Unidos aportan con el 72 % del suero a nivel mundial (Villegas, 2013, p. 50).

El suero puede ser usado como materia prima en la elaboración del queso ricotta o como ingrediente de productos alimenticios como bebidas, dulces, helados, chocolates, entre otros, así como en industrias farmacéuticas y cosméticas.

Su industrialización ha venido de la mano de la tecnología como la de membranas e intercambio de iones (Villegas, 2013, pp. 56–57). Sin embargo, esto ha sido únicamente aplicable y rentable a grandes volúmenes de suero, por lo cual las pequeñas y medianas empresas optan por la eliminación a vertientes, terrenos o en la alimentación animal (Cebrian et al., 2013, p. 31)

### **1.2.1. SUERO DE LECHE**

El suero lácteo es el líquido resultante de la elaboración del queso, por la coagulación de la caseína de la leche mediante la acción de enzimas coagulantes (renina), por la adición de ácidos sean estos orgánicos o minerales, o por la acidificación, hasta alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína (Franklin, 2011, p. 37).

Miranda et al. (2011), lo define como un subproducto de la industria quesera con una importante mezcla de proteínas de alto valor biológico (como se ilustra en la Tabla 1.1), vitaminas, minerales, por cuyas propiedades físicas, químicas y funcionales, puede ser utilizado en el mejoramiento de la salud (p. 8).

Los dos tipos comunes de suero son el dulce y el ácido. Se denominan así en función del mecanismo de obtención del queso, de modo que, si fue obtenido a través del método enzimático se denomina dulce, caso contrario (acidificación), se denomina suero ácido (García, Arrázola y Durango, 2010, p. 16).

#### 1.2.1.1. Composición nutricional

El suero lácteo o lactosuero es rico en agua y lactosa, y bajo en grasa, proteínas, vitaminas y minerales, sin embargo, estas últimas, aunque escasas, son de un alto valor alimenticio. En la Tabla 1.2 se puede observar a detalle la proporción de cada parámetro mencionado.

**Tabla 1.2.** Composición del suero lácteo

Parámetro	Valor (%)
Lactosa	4,85
Proteína	0,80
Grasa	0,5
Vitaminas y Minerales	0,6
Ácido láctico	0,05
Agua	93,2



(García, Arrázola, y Durango, 2010, p. 16)

### **1.2.1.2. Proteínas del suero**

O también denominadas seroproteínas, son un grupo de proteínas solubles con un alto valor biológico y una amplia gama de aminoácidos que incluye aminoácidos azufrados y ramificados. El 70 % del total proteico lo representan conjuntamente las  $\alpha$ -lactoalbúminas con las  $\beta$ -lactoglobulinas. Adicionalmente, están presentes las inmunoglobulinas, la lactoferrina, lactoperoxidasa, proteasa-peptona y lisozima. Industrialmente, las seroproteínas se emplean en la elaboración de fórmulas infantiles y especializadas, alimentos para deportistas y como suplementos alimenticios (Franklin, 2011, p. 29).

### **1.2.2. SUERO EN LA ALIMENTACIÓN PORCINA Y BOVINA**

Una de las formas más tradicionales de aprovechar el lactosuero desechado de las industrias, es usándolo como un sustituto de la leche en la alimentación de crías de rumiantes y porcinos y en procesos de cría y engorde (Cebrian et al., 2013, p. 31).

Investigaciones han demostrado que el lactosuero tiene efectos positivos en el desarrollo de los órganos del aparato digestivo de los cerdos principalmente, cuando se lo utiliza como un complemento alimentario, puesto que se ha observado un crecimiento de las vellosidades del duodeno y del yeyuno, el cual genera una mayor capacidad de absorción de los nutrientes (Pérez et al., 2014, p. 320).

### **1.2.3. BEBIDAS DE SUERO**

Debido al alto valor nutricional del suero, este ha sido empleado también en la formulación de bebidas. Por lo general se utiliza el suero dulce, el cual se lleva a

un proceso de pasteurización previo a la formulación de la bebida. Se han realizado mezclas con mango y papaya, siendo aceptada por un grupo de estudiantes universitarios. Así mismo, se ha realizado bebidas probióticas dirigidas a adultos mayores que han sido formuladas con mango y almendras e inoculadas con *Lactobacillus casei* (Paper, Vela y Guti, 2015, pp. 1–2)

#### 1.2.4. SUERO COMO SUPLEMENTO DEPORTIVO

Uno de los suplementos populares en el “mundo fitness” es el suero en polvo. El alto contenido de aminoácidos ramificados, leucina, isoleucina y valina lo convierten en una opción ideal post entrenamiento. Estos aminoácidos previenen la degradación proteica y mantienen el tejido muscular (al combinarse con una fuente de hidratos de carbono), poseen un alto valor biológico (se absorben mejor en el organismo ya que pasa directamente a los intestinos sin atravesar la digestión en el estómago), estimulan la síntesis proteica y la función inmune (Isidro, 2007, p. 398).

El suero en polvo es en su mayoría proteínas (Tabla 1.3). Comercialmente se lo encuentra combinado con creatinina y glutamina en tres distintas presentaciones: concentrada, aislada e hidrolizada (Isidro, 2007, p. 397).

**Tabla 1.3.** Composición del suero en polvo

Componentes del suero	Suero en polvo (%)	Suero en polvo concentrado (%)	Suero en polvo aislado (%)
Proteínas	11-14,5	25-89	>90
Lactosa	63-75	10-55	0,5
Grasa	1-1,5	2-10	0,5

(Isidro, 2007, p. 397)

#### 1.2.5. OTROS

El suero suele ser utilizado como un medio de cultivo para la producción de biomasa como en la fabricación de levadura, metabolitos (pigmentos, alcoholes, biopolímeros), y enzimas, donde la principal fuente de carbono para los microorganismos es la lactosa (Valencia et al., 2009, p. 31).

Así también es empleado en la producción de biofertilizantes, los cuales no solo nutren eficientemente los cultivos sino también, se convierten en un restaurador de la flora microbiana del ecosistema y elimina las bacterias patógenas (Valencia et al., 2009, p. 31). En la tecnología de empaques, el lactosuero se utiliza para producir un antimicrobiano el cual es utilizado en la elaboración de películas comestibles, alargando así la vida en anaquel del alimento (Valencia et al., 2009, p. 31).

### 1.3. PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO

El ácido láctico (ácido 2-hidroxiopropanoico) se aisló por primera vez en 1780 por el químico sueco Scheele. Para el año 1881 se daba inicio a su producción industrial. Desde entonces, ha sido utilizado en industrias químicas, alimentarias, farmacéuticas, plásticas y cosméticas (Serna y Rodríguez, 2005, p. 55). Los requerimientos de calidad para dos de las industrias mencionadas se muestran a continuación en la Figura 1.4.

PARAMETRO	GRADO FARMACEUTICO	GRADO FCC	GRADO ALIMENTICIO
Pureza (%)	88	95-105	80
Cloruros (%)	0,008	0,2	0,02
Sulfatos (%)	0,02	0,25	0,05
Arsénico (mg/kg)	4	3	0,2
Metales pesados (mg/kg)	33	10	10
Hierro (mg/kg)	10	10	10
Cenizas (%)	0,1	0,1	0,1

**Figura 1.5.** Especificaciones de la calidad del ácido láctico en la industria farmacéutica y alimenticia (FCC: Food Chemical Codex)  
(Serna y Rodríguez, 2005, p. 63)

En su estructura química se denota un alcohol y un carboxilo, que conforman un

carbón asimétrico, el cual le confiere actividad óptica. Sus dos isómeros ópticos son el D (-) láctico y L (+) láctico, de estos, el isómero D (-) es perjudicial en el metabolismo humano pudiendo generar acidosis y descalcificación. Por otra parte, el isómero L (+) es clasificado como una sustancia segura para su uso como un aditivo alimenticio (García et al., 2010, p. 10).

### 1.3.1. VÍAS DE OBTENCIÓN

El ácido láctico se obtiene por vía química o biotecnológica. Su síntesis química se basa en una reacción entre el acetaldehído con HCN cuyo producto es hidrolizado a ácido láctico; otro tipo de reacción es del acetaldehído con monóxido de carbono (CO) y agua (H<sub>2</sub>O), a alta presión en presencia de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) como catalizador. La principal desventaja de este método es que siempre resulta en una mezcla racémica de los isómeros L- y D- lo cual hace la mezcla ópticamente inactiva. Es por tal, que el 90 % del ácido láctico que se produce mundialmente se lo realiza por la vía biotecnológica (Arias, Henao y Castrillón, 2009, p. 148; Serna y Rodríguez, 2005, p. 55).

La producción biotecnológica se basa en la fermentación de sustratos ricos en hidratos de carbono con bacterias u hongos. El ácido láctico obtenido dependerá del tipo de microorganismo, las condiciones del medio como el pH y la temperatura, la fuente de carbono y nitrógeno, el modo de fermentación empleado y la formación de subproductos. Entre las ventajas de este método es que se emplean fuentes renovables o desperdicios como sustrato y se produce ácido L- ó D-láctico ópticamente puro, dependiendo de la cepa seleccionada (Arias et al., 2009, p. 148; Serna y Rodríguez, 2005, p. 55).

Serna y Rodríguez (2005) en su estudio de la producción biotecnológica del ácido láctico mencionan que las bacterias que pueden emplearse son cocos y bacilos Gram positivos, anaerobios facultativos, no esporulados, inmóviles y catalasa negativos, pertenecientes a los géneros *Lactobacillus*, *Carnobacterium*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Streptococcus*, *Tetragenococcus*, *Lactococcus*, *Vagococcus*, *Enterococcus*, *Aerococcus* y *Weissella*. Así también pueden

utilizarse hongos pertenecientes a los géneros *Rhizopus*, *Zymomonas*, *Saccharomyces* y *Kluiveromyces* (pp. 55-56).

### 1.3.2. USOS INDUSTRIALES

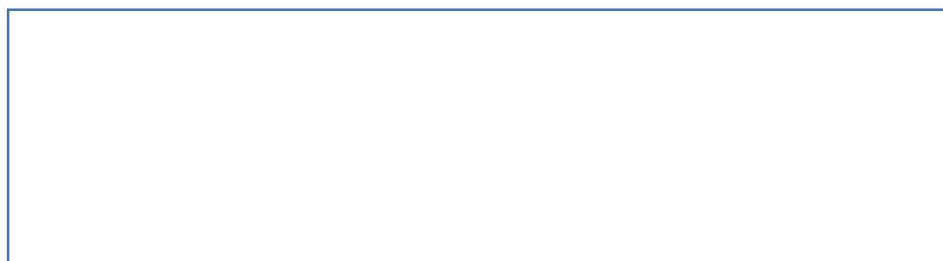
El ácido láctico es de gran importancia en varias industrias, principalmente en la industria química, alimenticia, farmacéutica y cosmética (Wee, Kim y Ryu, 2006, p. 168).

En la industria alimentaria es utilizado como saborizante, regulador del pH, fuente de minerales, prolongador de la vida útil en alimentos como la carne y el pollo, un controlador de los patógenos, entre estos la *Salmonella* y *Escherichia coli*, en la fabricación de bebidas, postres, helados, y en panadería (Wee et al., 2006, p. 169).

En la industria farmacéutica es usado como electrolito en soluciones intravenosas, en la formulación de pastillas, en prótesis, suturas quirúrgicas, en el tratamiento de infecciones cutáneas, regulador del pH en productos como shampoos, emulsiones, jabones, como ingrediente en la preparación de sodio lactato, etc (Acofarma, 2015, p. 1).

Para la industria cosmética, el ácido láctico funciona como hidratante, regulador del pH, regulador microbiano, agente anti acné. Así mismo, cuando es usado como ingrediente activo contribuye al aclaramiento y rejuvenecimiento de la piel (Wee et al., 2006, p. 169).

Finalmente, en la industria química se emplea al ácido láctico como agente descalcificante, neutralizador, regulador del pH, disolvente, agente de limpieza, removedor de polímeros, resinas y materia prima para la producción de herbicidas (Wee et al., 2006, p. 169). Lo expuesto, puede observarse en la Figura 1.5





**Figura 1.6.** Usos comerciales y aplicaciones del ácido láctico (Suárez, 2007, p. 21)

En la actualidad, se ha tomado gran interés en su producción biotecnológica dado su posibilidad de polimerización y su posible uso en el envasado de alimentos, fabricación de bolsas plásticas, recipientes, bandejas, películas envolventes, con la principal ventaja de su biodegradación (Serna y Rodríguez, 2005, p. 54).

### 1.3.3. PRODUCCIÓN BIOTECNOLÓGICA

Se ha producido ácido láctico a partir de distintas materias primas, entre ellas residuos de cáscara de naranja con el microorganismo *Rhizopus oryzae* (Gil, Domínguez y Pacho, 2008), aloe vera con *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus johnsonii* (Contreras, Domínguez, y Gonzalez, 2007), melaza con *Lactobacillus delbruekii*; almidón de yuca, papa, trigo, arroz con *Lactobacillus amylovorus* (Serna y Rodríguez, 2005), mucílago del café con *Lactobacillus bulgaricus* NRRL-B458 (Arias et al., 2009) entre otros

Aquellos estudios a partir de suero de leche, han mostrado diversos resultados en

función del microorganismo empleado. Es así que, a partir del *Lactobacillus helveticus* ATCC 8018 se obtuvo una producción de ácido de 10,97 g L<sup>-1</sup> , y pequeñas trazas de ácido acético y dióxido de carbono (Urribarrí et al., 2004).

En un medio enriquecido con 10 g L<sup>-1</sup> azúcar, 15 g L<sup>-1</sup> leche de soya, 150 g L<sup>-1</sup> suero de leche, 15 g L<sup>-1</sup> salvado de trigo, utilizando como microorganismo al *Lactobacillus plantarum*, se obtuvo una producción de 17,66 g L<sup>-1</sup> (Jurado, Ramírez y Aguirre, 2013, p. 37) y en el estudio realizado por Escobar, Rojas, Giraldo y Sanabria (2010), en el que se utilizó *Lactobacillus casei* para la producción de ácido láctico y se registró una producción de 70,39 g L<sup>-1</sup> (p. 42).

## 2 PARTE EXPERIMENTAL

La Figura 2.1 presenta el diseño del experimento realizado en esta investigación.

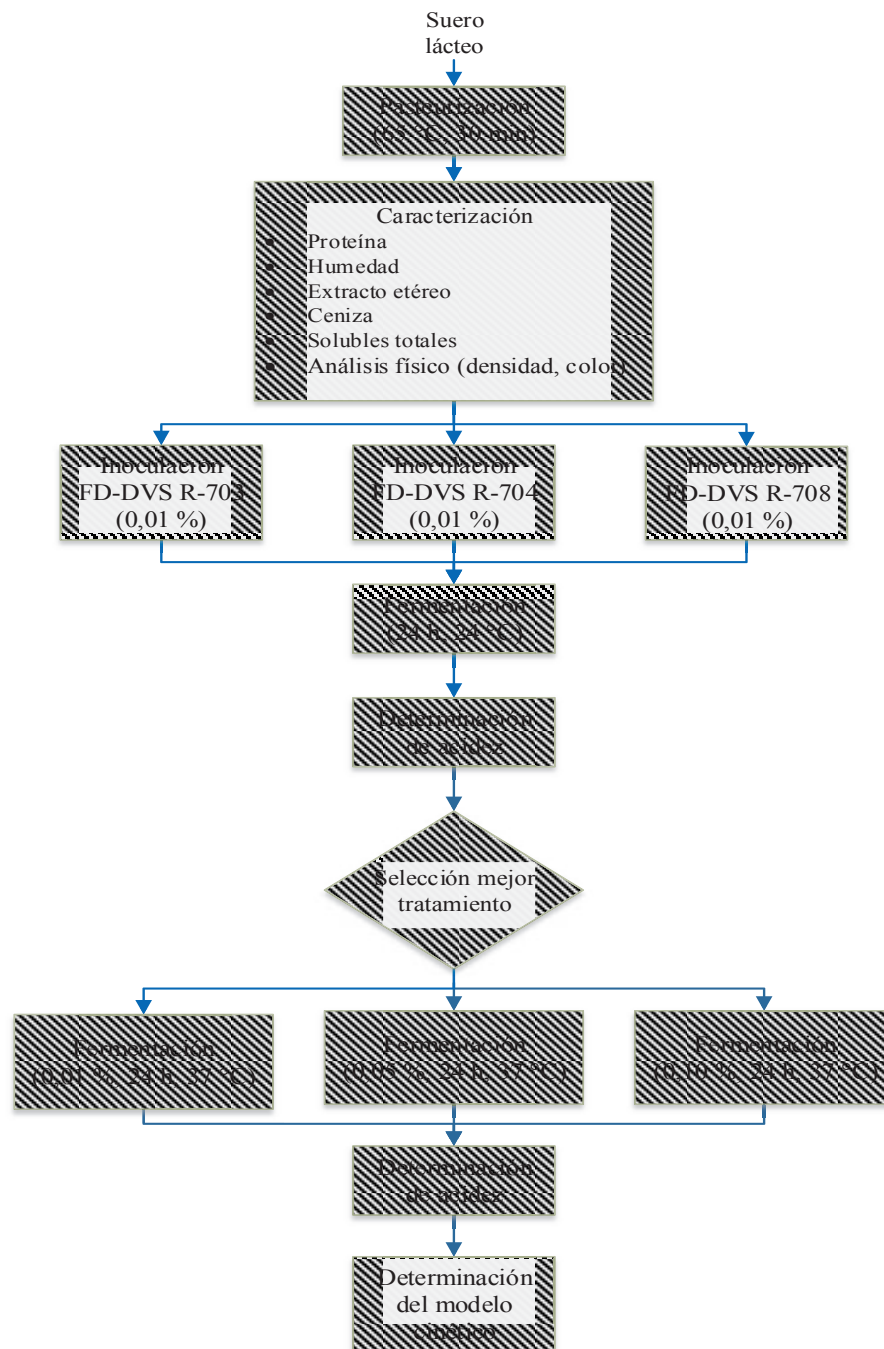


Figura 2.1. Diseño del experimento



## **2.1. SELECCIÓN DEL CULTIVO HOMOFERMENTATIVO QUE PERMITA LA MAYOR OBTENCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO ENTRE LOS CULTIVOS COMERCIALES R-704, R-703 Y R-708 DE HANSEN**

A continuación, se describe los procedimientos realizados para la determinación del cultivo comercial que permita obtener la mayor producción de ácido láctico entre los cultivos comerciales CHR Hansen R-703, R-704 y R-708.

### **2.1.1. MUESTREO DEL SUERO DE LECHE**

El suero obtenido tras una jornada en la Industria Guerrero (Figura A1.1), fue mezclado exhaustivamente con un émbolo manual. A continuación, se tomaron 9 muestras de 100 mL cada una en frascos de vidrio, previamente esterilizados en autoclave a una temperatura de 121 °C durante 15 minutos, y fueron llevados a refrigeración (4 °C) para su posterior análisis químico y físico.

Este procedimiento se realizó por triplicado a día seguido y el procedimiento obedeció la metodología descrita por la norma NTE INEN-ISO 707 (2014, p. 17).

### **2.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUERO**

Se realizó una caracterización química y física del suero de leche. Los métodos empleados para el análisis químico (proteína, humedad, extracto etéreo, cenizas y acidez titulable) se presentan a continuación en la Tabla 2.1. Adicionalmente se realizó un estudio del perfil lipídico en los laboratorios LASA, localizado en la ciudad de Quito-Ecuador.

El análisis físico incluyó los parámetros de volumen, peso, y color. El color se midió en un espectrofotómetro.

**Tabla 2.1.** Métodos de análisis empleados en la caracterización del suero de leche

<b>Parámetro</b>	<b>Método/Equipo</b>
Proteína	Método oficial AOAC 2001.11
Humedad	Método oficial AOAC 934.01
Extracto etéreo	Método oficial AOAC 920.39 y VELP SCIENTIFICA SER 148
Cenizas	Método oficial AOAC 923.03
Acidez titulable	Método oficial AOAC 942.15
Sólidos totales	Refractómetro
Lactosa	Método NMX-F-509
pH	pH-metro

### 2.1.3. INOCULACIÓN Y FERMENTACIÓN DE LOS CULTIVOS

Para la selección del mejor cultivo se realizó un diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones, en el cual, se pesaron 0,1 g de los cultivos FD-DVS R-703, FD-DVS R-704 y FD-DVS R-708 de Hansen en una balanza analítica MRC (ABX-60-220-X, 220 g, 0,01) y se inocularon en tres biorreactores que contenían un 1 L de lactosuero cada uno (sistema de fermentación tipo Batch) a condiciones de tiempo y temperatura de 24 horas y 24 °C (temperatura ambiente), respectivamente.

### 2.1.4. ACIDEZ TITULABLE

La acidez titulable del líquido resultante se determinó mediante titulación con fenolftaleína según el método AOAC 942.15. Los resultados de la concentración

de ácido se expresaron como porcentaje (%).

## **2.2. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN Y EL TIEMPO DE INCUBACIÓN DEL CULTIVO EN LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO Y DETERMINACIÓN DEL MODELO CINÉTICO QUE MEJOR DESCRIBA EL PROCESO**

Los procedimientos llevados a cabo para la determinación del efecto de la concentración y el tiempo de incubación del cultivo en la producción de ácido láctido se muestran a continuación.

### **2.2.1 FERMENTACIÓN**

Una vez seleccionado el cultivo comercial que mayor acidez produjo, se procedió a realizar un diseño factorial  $3 \times 10$ , en el cual los factores evaluados fueron la concentración y el tiempo. Los niveles a probar en el factor concentración fueron: 0,01; 0,05 y 0,10 % del peso del microorganismo mesófilo homofermentativo y los tiempos de 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 16, 20 y 24 horas. La variable de respuesta fue la acidez y los datos obtenidos fueron analizados en el software estadístico STATGRAPHICS CENTURION XVI.

Para la fermentación, se inició pesando 0,1 g del cultivo homofermentativo y 5 g de  $\text{CaCO}_3$  (98,3 %) en una balanza analítica y se colocaron en un biorreactor modelo MAP-002 Brunswick, que contenía 1 L de suero lácteo a 37 °C. Se tomaron muestras del suero por triplicado a 10 diferentes tiempos de fermentación dentro de las 24 horas analizadas. De cada muestra tomada se evaluó la acidez a través de titulación con fenolftaleína según el método AOAC 942.15 y cada resultado se tomó como un punto en la gráfica de producción del metabolito.

Se realizó el mismo procedimiento para la evaluación a las concentraciones de 0,05 y 0,10 % variando únicamente la cantidad del cultivo homofermentativo, de

modo que se pesaron 0,5 y 1 g para cada análisis (Figura A1.2).

### 2.2.2 MODELOS CINÉTICOS

Los datos obtenidos de acidez en los tiempos de 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 16, 20 y 24 horas, bajo las concentraciones del 0,01; 0,05 y 0,10 % del peso del microorganismo mesófilo homofermentativo, fueron comparadas con los modelos cinéticos de crecimiento logístico (o de Verhulst) y la ecuación de Leudekin y Piret (Jakymec et al., 2001, p. 55)

$$\frac{dP}{dt} = P_0 \left(1 - \frac{P}{P_{m\acute{a}x}}\right) P \quad [2.1]$$

$$\frac{dP}{dt} = \alpha \frac{dX}{dt} + \beta X \quad [2.2]$$

Donde:

P: concentración de ácido láctico ( $\text{g L}^{-1}$ )

t: tiempo (h)

$P_0$ : concentración inicial de ácido láctico

$P_{m\acute{a}x}$ : máxima concentración de ácido láctico alcanzado en la fermentación

$\alpha$ : constante adimensional

X: biomasa ( $\text{g L}^{-1}$ )

$\beta$ : constante de producción ( $\text{h}^{-1}$ ) (Jakymec et al., 2001, p. 55).

Una vez aplicado el modelo en Excel, se escogió aquel que mejor simuló el proceso de producción de ácido láctico.

## 2.3. EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO A PARTIR DE SUERO DE LECHE

Se realizó un estudio de pre factibilidad técnico-financiera en el cual se evaluaron parámetros como: la capacidad y localización de la planta, disponibilidad de materia prima e insumos, balances de materia y energía, dimensionamiento de equipos, distribución de áreas, las cotizaciones de equipos, el cálculo de inversiones, costos de operación (fijos y variables), indicadores VAN, TIR, punto de equilibrio, y los flujos de caja.

### 2.3.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Como parte de la evaluación técnica, se definieron las características químicas y físicas a obtener, entre las cuales figuran aquellas mencionadas en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Propiedades fisico-químicas del ácido láctico

Parámetro	Descripción	Unidades
Formula y peso molecular	$C_3H_6O_3$ (90,08)	g/mol
Punto de fusión	L(+): 52,8	°C
Gravedad específica	1206	
Viscosidad	40,33	mNsm <sup>-2</sup>
Densidad	1,249	g/mL

(Serna y Rodriguez, 2005, p. 55)

### **2.3.2. CAPACIDAD Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA**

La capacidad de la planta se precisó en función de la cantidad de lactosuero disponible para la industrialización proveniente de la empresa Guerrero e Hijos, ubicada en San Miguel de los Bancos, provincia de Pichincha.

La microlocalización de la planta se definió considerando los siguientes factores: puntos de venta, disponibilidad de materia prima y mano de obra en el sector, transporte, impacto ambiental y eliminación de efluentes.

### **2.3.3. DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA E INSUMOS**

Se consideró la distancia, transporte, relación costo-beneficio, cantidad y calidad de la materia prima, insumos y aditivos.

### **2.3.4. DISEÑO DEL PROCESO**

El proceso para la obtención de ácido láctico se esquematizó en un diagrama de bloques (BFD) interconectados por flechas que indican la dirección del proceso.

### **2.3.5. DISEÑO BÁSICO DE LA PLANTA**

Para el diseño básico de la planta se realizó balances de materia y energía, el dimensionamiento de equipos, además se consideró la distribución de las áreas (Layout) de: almacenamiento, producción, laboratorios, oficinas, mantenimiento y bodega. De igual manera, se tomó en consideración los equipos en cada área y su disposición mediante el programa AUTOCAD 2008.

Para el balance de energía se utilizó la ecuación 2.3.

$$Q = m \times Cp \times \Delta T \quad [2.3]$$

Donde:

Q: calor necesario (kg/día)

m: masa (kg/día)

Cp: Calor específico de vaporización

$\Delta T$ : Variación de temperatura

### **2.3.6. EVALUACIÓN FINANCIERA**

El estudio de pre-factibilidad financiera se realizó mediante el cálculo de inversiones, costos de operación (fijos y variables), indicadores VAN, TIR y punto de equilibrio, así mismo, se estableció el precio de venta al público (PVP) considerando un 20 % de utilidad y se determinaron los flujos de caja.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. SELECCIÓN DEL CULTIVO HOMOFERMENTATIVO QUE PERMITA LA MAYOR OBTENCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO ENTRE LOS CULTIVOS COMERCIALES R-704, R-703 Y R-708 DE HANSEN

Seguidamente se presentan los resultados obtenidos en la caracterización del suero y selección del cultivo comercial que permitió la mayor obtención de ácido láctico.

##### 3.1.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUERO

En las Tablas 3.1 y 3.2, se muestran los resultados de la evaluación de los parámetros químicos y físicos del suero lácteo obtenido tras la fabricación de queso dulce. Además, se presenta a detalle el perfil lipídico del suero en la Tabla 3.3.

**Tabla 3.1.** Caracterización química (%) del suero de leche

Muestra	Analito	Resultados	Método
Suero lácteo	Humedad	93,5 ± 0,03	AOAC 934,01
	Cenizas	0,6 ± 0,02	AOAC 923,03
	Extracto etéreo	0,4 ± 0,03	AOAC 920,39 Y VELP
	Proteína	1,1 ± 0,02	AOAC 2001,11
	Sólidos totales	6,50	Refractómetro
	Acidez titulable	0,1 ± 0,01	AOAC 942.15
	lactosa	4,4 ± 0,02	NMX-F-509
	pH	6,50	pH-metro

$\bar{X} \pm \sigma$  (n = 3)

El análisis químico realizado al suero de leche proveniente de las instalaciones de



la Industria Quesera Guerrero, no presenta variabilidades en cuanto a humedad (93,5 %), sólidos totales (6,5 %) y extracto etéreo (0,4 %) en relación a datos expuestos en la literatura (Panesso, Pardo y Sepúlveda, 2015, p. 4; Villacís, 2011, p. 95). Sin embargo, al relacionar el resultado de proteína (1,1 %) con el estudio realizado por Panesso et al. (2015), resulta mayor el valor obtenido en el suero lácteo de esta investigación (p. 4).

**Tabla 3.2.** Resultados de las pruebas físicas: peso, volumen y color

Parámetro	Valoración	Unidades
Peso	1,022 ±0,003	g
Volumen	1	cm <sup>3</sup>
Color	Verde claro	-

$\bar{x} \pm \sigma$  (n = 3)

**Tabla 3.3.** Perfil lipídico (%) del suero lácteo

Parámetro	Valoración
Ácido cáprico	1,74 ± 0,11
Ácido láurico	3,65 ± 0,02
Ácido mirístico	15,5 ± 0,22
Ácido palmítico	22,74 ± 0,08
Ácido esteárico	12,18 ± 0,15
Ácido palmitoleico	2,68 ± 0,10
Ácido oleico	35,67 ± 0,18
Ácido elaídico	1,45 ± 0,07
Ácido linoleico	3,15 ± 0,05
Ácidos saturados	55,8 ± 0,14
Ácidos monoinsaturados	39,8 ± 0,30
Ácidos poliinsaturados	3,15 ± 0,20

$\bar{x} \pm \sigma$  (n = 3)

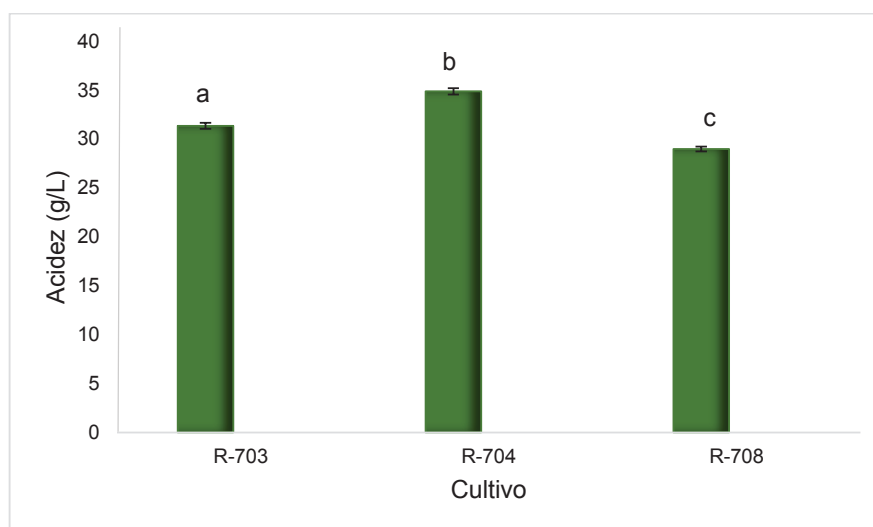
De acuerdo a la norma ecuatoriana NTE INEN 2594, el valor obtenido de pH cae dentro del rango aceptado por esta norma, el cual está establecido entre 6,4 y 6,8; así mismo, la acidez titulable cuyo valor obtenido va acorde a la norma que señala un valor máximo del 0,16 % y en ceniza del 0,7 % (p. 6).

Conforme al análisis físico, los parámetros evaluados coinciden con lo expuesto por Callejas, Prieto, Reyes, Marmo y Méndez (2012) que indican que la relación entre la masa y el volumen del suero rodea un valor aproximado de 1,026 g/mL (p. 15).

La composición de ácidos grasos en la leche involucra una amplia gama de ácidos con diferentes estructuras bioquímicas. Se han identificado cerca de 460 ácidos grasos diferentes, en cantidades incluso menores al 0,01 % (García, Montiel y Borderas, 2014, p. 87). En el suero lácteo, principalmente destaca la presencia de los ácidos oleico, palmítico y esteárico, así lo demuestran los datos obtenidos en este estudio y aquellos presentados en la investigación realizada por Durando, Sepúlveda, Gutiérrez y Londoño (2012, p. 378).

### 3.1.2. FERMENTACIÓN DE CULTIVOS Y ACIDEZ

La acidez resultante tras la fermentación a condiciones de tiempo y temperatura de 24 h y 24 °C de los cultivos homofermentativos CHR Hansen R-703, R-704 y R-708, se muestran a continuación en la Figura 3.1.



n=3

\* Diferentes letras denotan diferencias significativas entre las muestras ( $p < 0,05$ )

**Figura 3.1.** Acidez en las muestras de suero tras la fermentación con los cultivos R-703, R-704 y R-708 a 24 °C durante 24 h

En la gráfica se puede observar tres grupos heterogéneos entre los cuales existen diferencias significativas: a, b y c, y corresponden a los cultivos R-703, R-704 y R-708, respectivamente. La mayor producción de ácido láctico se presentó a través del cultivo R-704 con un valor de  $34,87 \pm 0,32$  %, y la menor producción se registró en el cultivo R-708 con  $28,97 \pm 0,25$  %.

Los cultivos “R” homofermentativos son una mezcla de cepas entre *Lactobacillus lactis* y *lactobacillus lactis subsps. Cremoris* (Anexo II y III), que al fermentar la lactosa producen como principal producto al ácido láctico (Hansen, 2015, p. 1).

La diferencia en la producción de ácido entre los cultivos, podría deberse a la existencia de factores microbiológicos y químicos que inhibieron en parte la actividad de estos cultivos, entre estos, la presencia de fagos y cambios en el pH. Ortiz (2015) y Hansen (2015), mencionan que, entre estos cultivos, el R-708, presenta menos resistencia a fagos en relación a los cultivos R-703 y R-704, que presentan mayor resistencia a estos. Conforme al pH, se presume que los cultivos R-703 y R-708 son más sensibles al cambio de pH que sufre el medio en función de la producción paulatina de ácido láctico, que el R-704 (p. 1).

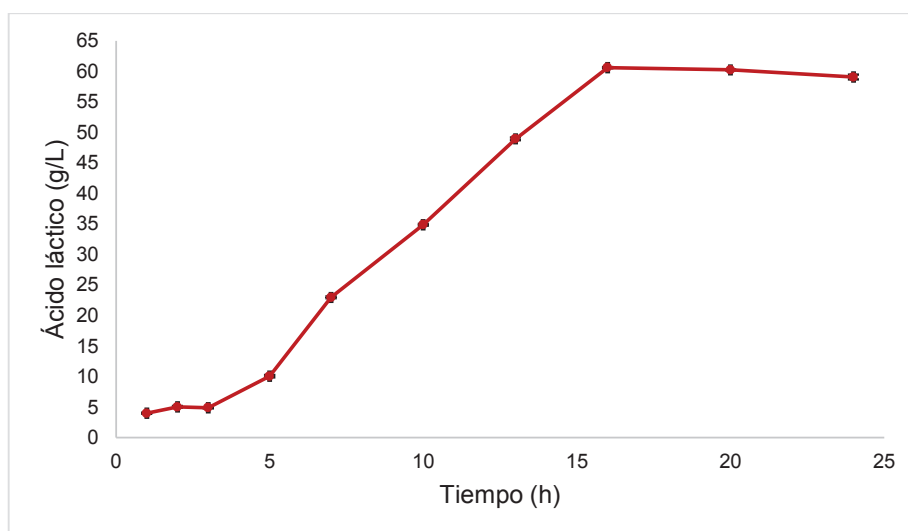
Relacionando estos factores y con base en los resultados que se exponen en el Anexo IV, se considera que el cultivo R-704 es el mejor cultivo para la producción de ácido láctico. Cabe destacar que en esta etapa del experimento se trabajó a condiciones ambientales (24 °C) dado que el único objetivo fue elegir el mejor cultivo

### **3.2. EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN Y EL TIEMPO DE INCUBACIÓN DEL CULTIVO EN LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO Y DETERMINACIÓN DEL MODELO CINÉTICO QUE MEJOR DESCRIBE EL PROCESO**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras la fermentación a una concentración del 0,01; 0,05 y 0,10 % del peso del microorganismo mesófilo homofermentativo y los tiempos de 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 16, 20 y 24 horas.

### 3.2.1. FERMENTACIÓN

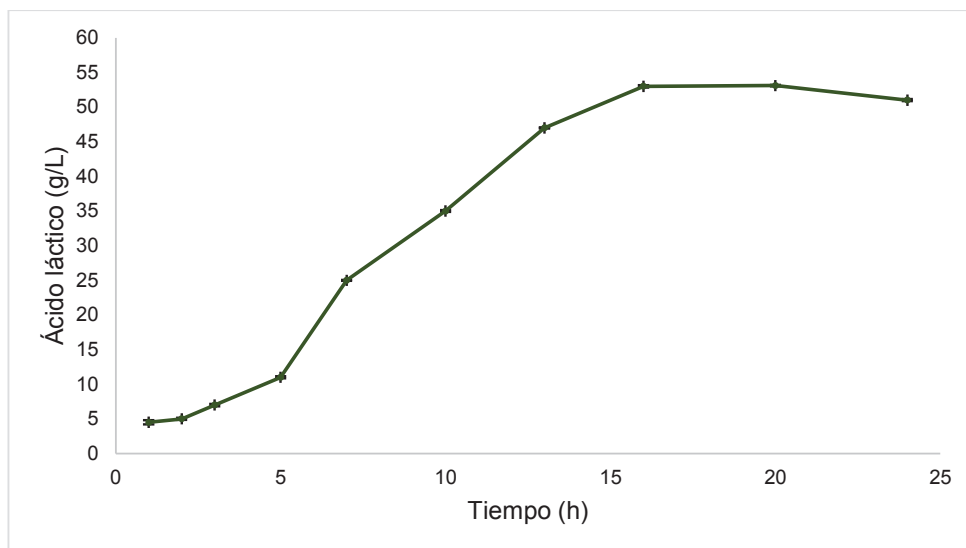
La producción de ácido láctico a partir de la fermentación del lactosuero con el cultivo CHR Hansen R-704 a concentraciones del 0,01 %, 0,05 % y 0,10 %, y condiciones de tiempo y temperatura de 24 h y 37 °C, se ilustran a continuación en las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4.



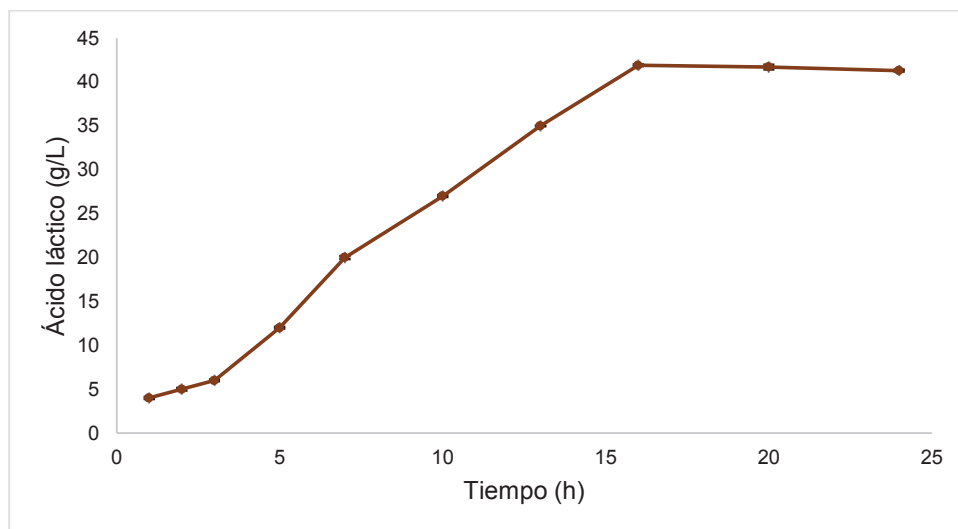
**Figura 3.2.** Producción de ácido láctico con el cultivo CHR Hansen R-704 a una concentración del 0,01 %

Tanto en la Figura 3.2, 3.3 y 3.4, se puede observar que la mayor producción de ácido láctico se presenta en la fase de crecimiento exponencial del cultivo homofermentativo (aproximadamente a partir de la 5 hora hasta la hora 16), no obstante, bajo la condición 1 (concentración=0,01 %) se alcanzó el  $60,6 \pm 0,06$  % de la producción de ácido láctico, mientras que en la condición 2 y 3 (0,05 y 0,10 %) tan solo el  $53,2 \pm 0,17$  y  $42,1 \pm 0,12$  %, respectivamente. Estos

resultados se presentan a detalle en el Anexo V.



**Figura 3.3.** Producción de ácido láctico con el cultivo CHR Hansen R-704 a una concentración del 0,05 %



**Figura 3.4.** Producción de ácido láctico con el cultivo CHR Hansen R-704 a una concentración del 0,10 %

Los resultados alcanzados en este tratamiento son mayores a aquellos obtenidos en la primera parte de esta investigación, debido a que se trabajó a la temperatura

óptima del cultivo de 37 °C, y se controló el pH a través de la adición de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en una relación de 5 g L<sup>-1</sup> (Suárez, 2007, p. 59).

Al inocular los microorganismos en un medio de cultivo apropiado, estos empiezan a dividirse activamente utilizando los nutrientes que aporta el medio. Este proceso continúa hasta que uno de los nutrientes se agota, deteniendo así el crecimiento de los microorganismos y, por ende, disminuyendo la producción del metabolito. Durante el metabolismo, no todo el sustrato es consumido para la formación de biomasa, parte de este se requiere también para el mantenimiento celular (Rivera, 2013, p.1).

El lactosuero, si bien es un medio de cultivo complejo rico en carbono (lactosa), proteínas, vitaminas y minerales, estas a penas conforman el 6,5-7 % de todo el medio, como se ilustra en el Tabla 3.1 de este capítulo (Miranda et al., 2011, p. 8), por otra parte, los microorganismos empleados en este estudio, aquellos del género *Lactobacillus*, dado a su metabolismo estrictamente fermentativo, tienen como principal producto de la fermentación de la lactosa del lactosuero al ácido láctico, y su tolerancia a la acidez (desde el 0,3 % hasta el 1,9 % de acidez titulable) (pH debajo de 5) les confiere ventajas competitivas frente a otras bacterias, lo cual las convierte en las preferidas para la producción del ácido láctico (Panesso et al., 2015, pp. 1–7).

Con estos preámbulos, y basados en los resultados obtenidos experimentalmente, se puede concluir que el factor determinante en la producción del metabolito, es el sustrato, puesto que no se reflejó una mayor producción de ácido láctico al aumentar la concentración de microorganismos, al contrario, se evidenció una disminución en la producción de ácido láctico, lo cual se atribuye a que parte del sustrato, al emplearse para el mantenimiento celular, no pudo ser transformado, tal como se observa en las Figuras 3.2, 3.3 y 3.4 (Fogler, 2001, p.399). Así mismo, se esperaba una mayor producción de ácido , ya que de acuerdo a Panesso et al. (2015), el uso de bacterias homofermentativas como las del género *Lactobacillus*, garantizan una producción entre el 70 y el 90 %.

En la literatura se han encontrado diversos resultados del rendimiento en la producción de ácido láctico a partir de suero de leche. En un estudio, que empleó al microorganismo *Lactobacillus helveticus*, se registró una producción de ácido de  $10,97 \text{ g L}^{-1}$  (Urribarrí et al., 2004), de igual manera, en un medio enriquecido con  $10 \text{ g L}^{-1}$  azúcar,  $15 \text{ g L}^{-1}$  leche de soya,  $150 \text{ g L}^{-1}$  suero de leche,  $15 \text{ g L}^{-1}$  salvado de trigo, utilizando como microorganismo al *Lactobacillus plantarum*, se obtuvo una producción de  $17,66 \text{ g L}^{-1}$  (Jurado-Gámez, Ramírez y Aguirre, 2013), y en el estudio realizado por Escobar, Rojas, Giraldo y Sanabria (2010), en el que se utilizó *Lactobacillus casei* para la producción de ácido láctico y se registró una producción de  $70,39 \text{ g L}^{-1}$ .

Tal como menciona Serna y Rodriguez (2005), la efectividad en la producción de ácido láctico depende de varios factores, entre esos: el microorganismo empleado, la fuente de carbono y nitrógeno, el tipo de fermentación, el pH, la temperatura, la formación de subproductos, entre otros (p. 57).

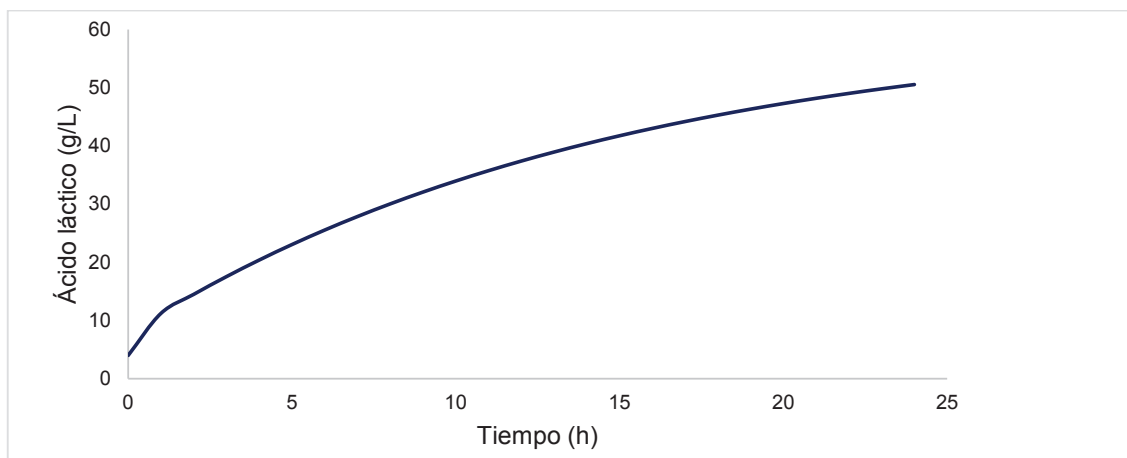
Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la utilización del cultivo comercial CHR Hansen R-704 (microorganismos: *Lactococcus lactis subsp. lactis* y *Lactococcus lactis subsp. cremoris*), a una concentración igual al 0,01 %, permite obtener una producción de ácido láctico del 60,6 %.

### 3.2.2. MODELOS CINÉTICOS

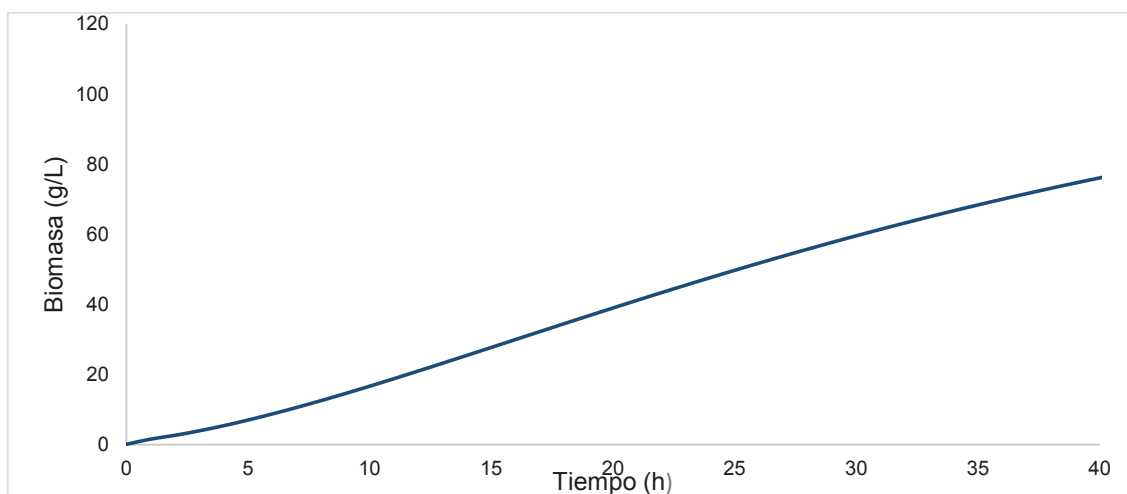
Los modelos cinéticos se emplean con el fin de describir adecuadamente el proceso de fermentación. La simulación de los datos obtenidos experimentalmente, permiten correlacionar estos modelos con el proceso biotecnológico (Jakymec et al., 2001, p. 54).

Se han escogido dos modelos cinéticos de crecimiento, el modelo logístico (o de Verhulst) y la ecuación de Leudekin y Piret, los cuales corresponden a las ecuaciones 2.2 y 2.3 del inciso 2.2.2 de esta investigación. Las gráficas obtenidas tras la simulación se pueden observar en las Figuras 3.5 y 3.6.

Considerando que la conversión de la lactosa en ácido láctico está en función directa con el crecimiento microbiano o biomasa (Jakymec et al., 2001, p. 54), para el tiempo de 16 horas (tiempo experimental en el cual se evidenció la mayor producción de ácido láctico), con los resultados de la simulación se obtuvo una producción de biomasa y ácido láctico de  $30 \text{ g L}^{-1}$  y  $43 \text{ g L}^{-1}$  respectivamente (Anexo VI), sin embargo, el valor de ácido láctico es distante a lo obtenido experimentalmente, ya que la producción del metabolito ascendió a los  $60,6 \text{ g L}^{-1}$ .



**Figura 3.5.** Cinética de la producción de ácido láctico ( $\text{g L}^{-1}$ ) con el modelo logístico





**Figura 3.6.** Cinética de la producción de biomasa con la ecuación de Leudekin y Piret

Con la simulación, se pudo observar que la ecuación logística graficada en la Figura 3.5, no representa por sí misma las fases de la producción de ácido láctico. Así mismo la ecuación de Leudekin y Piret ilustrada en la Figura 3.6, no representa la típica gráfica del crecimiento microbiano, más bien por su tendencia, podría asociarse únicamente a la fase de crecimiento exponencial.

En el estudio realizado por Jakymec et al. (2001), determina que la ecuación que mejor representa el proceso de fermentación en relación a la producción de metabolito, es la de Leudekin y Piret. Esto al ser comparada con la ecuación de producción sencilla, la ecuación de Hanson y Tsao y con el modelo logístico (pp. 55-59).

### **3.3. EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO A PARTIR DE SUERO DE LECHE**

La evaluación técnico-financiera realizada para la creación de una planta procesadora de ácido láctico, se muestra a continuación.

#### **3.3.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO**

El producto final a obtener es ácido láctico (ácido 2-hidroxi-propanoico) líquido, con su isómero óptico activo L(+) en mayor proporción, y rastros del isómero D(+) (característico de la fermentación con bacterias homofermentativas), con una pureza de alrededor del 45 % (Panesso et al., 2015, p. 7).

### 3.3.2. CAPACIDAD Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

La capacidad de la planta se dio en función de la materia prima disponible de la Industria Quesera Guerrero, que asciende a un total de 655 L de suero diariamente.

Para la localización, se dispuso un terreno de 1 000 m<sup>2</sup> cerca del Río Saloya, en el cantón San Miguel de los Bancos, provincia de Pichincha, lugar aledaño a la empresa Quesera Guerrero. En la Figura 3.7 se presenta una imagen de la microlocalización del terreno a usar para la ubicación de la planta productora de ácido láctico.



**Figura 3.7.** Microlocalización de la planta productora de ácido láctico

Esta localización cumple con los factores necesarios para la instalación de la planta como son: disponibilidad de materia prima y mano de obra, eliminación de efluentes, consideraciones estratégicas y transporte. Adicionalmente, por el espacio disponible se abre la posibilidad de una futura ampliación de la planta.

### 3.3.3. DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA E INSUMOS

Considerando que la provincia de Pichincha y la serranía ecuatoriana son lugares productores por excelencia de productos lácteos y sus derivados, se estima una disponibilidad de materia prima de alrededor de 3 631 392 L diarios (únicamente en el régimen Sierra) (Vizcarra et al., 2015, p. 51).

Con respecto a los reactivos, para el proceso se requiere de: el cultivo homofermentativo R-704, carbonato de calcio y ácido sulfúrico. El cultivo R-704 se encuentra disponible en la industria DESCALZI, el carbonato de calcio en la planta industrial LACEC, y el ácido sulfúrico en la industria PROVEQUIM. Como insumos se requieren de garrafas de 2,5 L de capacidad (Figura 3.8) que se pueden obtener a través de la empresa DELTAPLASTIC y etiquetas en ETIGRAF.



**Figura 3.8.** Garrafa de 2,5 L  
(Deltaplastic, 2017, p. 1)

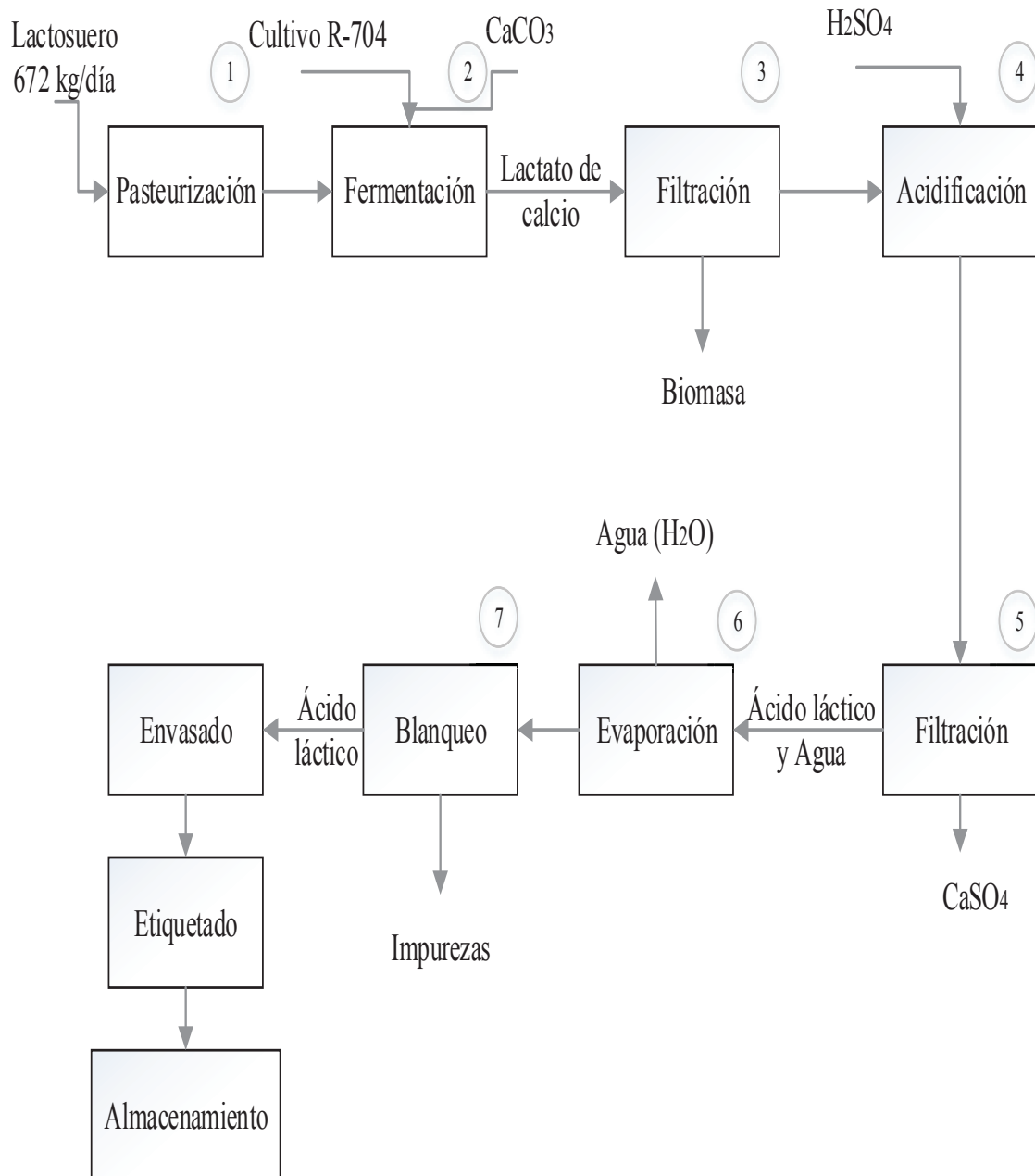
Todas las entidades mencionadas se encuentran en la ciudad de Quito y el costo por transporte, de acuerdo a los requerimientos de espacio, oscila entre los \$ 120 y \$ 150 dólares.

### 3.3.4. DISEÑO DEL PROCESO

El proceso inicia con la pasteurización del suero lácteo (15 min y 60 °C) y la fermentación con el cultivo homofermentativo R-704 a una concentración del 0,01 % a 37 °C. En esta etapa se adiciona  $\text{CaCO}_3$  a una concentración de  $5 \text{ g L}^{-1}$  con el fin de mantener el pH para que el crecimiento del cultivo no se vea afectado por la acidez del medio. El lactato de calcio obtenido por la fermentación, pasa a un filtro a través del cual se descarta la biomasa formada. Con el fin de convertir el lactato de calcio en ácido láctico, se sigue un proceso de acidificación para el cual se adiciona al medio ácido sulfúrico en una relación de  $27,16 \text{ g L}^{-1}$ . La reacción genera como residuo al sulfuro de calcio, el cual no es soluble y precipita

siendo eliminado por una nueva filtración. En el medio se encuentra disuelto el ácido láctico, de modo que, para concentrarlo, la solución pasa a un evaporador. Finalmente, se realiza un blanqueo con carbón activado, es envasado, etiquetado y almacenado (Serna y Rodríguez, 2005, p. 55-57).

La Figura 3.9 esquematiza el proceso a través de un diagrama de bloques (BFD).



**Figura 3.9.** Diagrama de bloques (BFD), producción de ácido láctico

### 3.3.5. DISEÑO BÁSICO DE LA PLANTA

Como parte del diseño básico de la planta se consideró el balance de masa, balance de energía, dimensionamiento de equipos, distribución de áreas y equipos.

#### 3.3.5.1. Balance de Masa

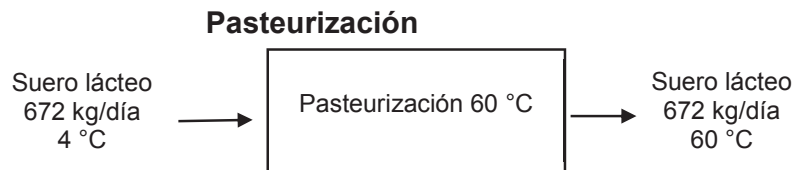
El balance de masa del proceso de obtención de ácido láctico se muestra a continuación en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4.** Balance de masa del proceso de elaboración de ácido láctico

Número de corriente	1	2	3	4	5	6	7
Flujo másico (kg/día)	672	3,34	19,65	17,79	24,48	615,85	39,70
Estado	Líquido	Sólido	Sólido	Líquido	Sólido	Líquido	Líquido
Temperatura (°C)	65	37	-	-	-	90	-
Suero lácteo (kg/día)	672	-	-	-	-	-	-
Cultivo R-704 (kg/día)	-	0,06	-	-	-	-	-
Carbonato de calcio (kg/día)	-	3,27	-	-	-	-	-
Biomasa (kg/día)	-	-	13,10	-	-	-	-
Ácido sulfúrico (kg/día)	-	-	-	17,79	-	-	-
Sulfato de calcio (kg/día)	-	-	-	-	24,48	-	-
Agua (kg/día)	-	-	-	-	-	615,85	-
Ácido láctico (kg/día)	-	-	-	-	-	-	39,70

#### 3.3.5.2. Balance de energía

A partir de la ecuación 2.3 presentada en el inciso 2.3.5, se realizó el balance de energía para los procesos de pasteurización, fermentación y evaporación, los mismos que se describen a continuación.

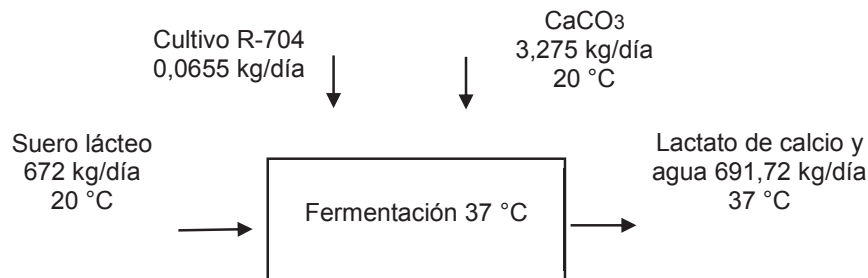


$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{lactosuero}} \times C_{p_{\text{lactosuero}}} \times \Delta T$$

$$\dot{Q} = 672 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 3,89 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \times 56 \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 146,39 \text{ kJ/día}$$

### Fermentación

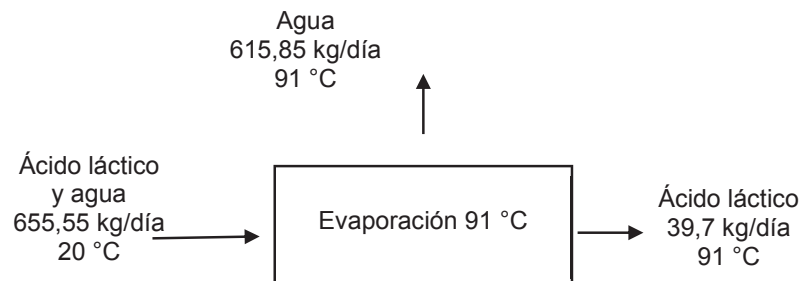


$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{lactosuero}} \times C_{p_{\text{lactosuero}}} \times \Delta T_{\text{lactosuero}} + \dot{m}_{\text{CaCO}_3} \times C_{p_{\text{CaCO}_3}} \times \Delta T_{\text{CaCO}_3}$$

$$\dot{Q} = 672 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 3,89 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \times (17 \text{°K}) + 3,275 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \times 0,632 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°K}} \times 17 \text{°K}$$

$$\dot{Q} = 44,47 \text{ kJ/día}$$

### Evaporación



$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{ác. láctico}} \times C_{p_{\text{ác. láctico}}} \times \Delta T_{\text{ác. láctico}} + \dot{m}_{\text{agua}} \times C_{p_{\text{agua}}} \times \Delta T_{\text{agua}} + \dot{m}_{\text{agua}} \times L_p$$

$$\dot{Q} = 39,7 \frac{kg}{día} \times 2340 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ K} \times 71 \text{ } ^\circ K + 615,85 \frac{kg}{día} \times 4186 \frac{J}{kg \text{ } ^\circ K} \times 71 \text{ } ^\circ K + 615,85 \frac{kg}{día} \times 2,257 * \frac{10^6 J}{kg}$$

$$\dot{Q} = 1579060,35 \text{ kJ/día}$$

El cp para el suero de leche se obtuvo del libro escrito por Arias (2003, p. 260)

### 3.3.5.3. Dimensionamiento de equipos

El dimensionamiento de quipos como el tanque, el fermentador y la bomba se presenta a continuación. Adicionalmente, en el Anexo VI se presenta las hojas de especificaciones de los equipos

#### Dimensionamiento del tanque de recepción del suero lácteo

$$V_{suero} = \frac{\text{masa del suero}}{\text{densidad del suero}} \quad [3.1]$$

$$V_{suero} = \frac{672 \text{ kg}}{1026 \text{ kg/m}^3} = 0,655 \text{ m}^3$$

Sobredimensionamiento del 30%

$$V_{recipiente} = 0,655 * 1,3 = 0,852 \text{ m}^3 \quad [3.2]$$

Adecuamiento de medidas para el tanque

$$\text{largo } (L) = 0,9 \text{ m}$$

$$\text{ancho } (D) = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{altura } (H) = 1,2 \text{ m}$$

$$V = L * D * H$$

$$[3.3]$$

$$V = 0,9 * 0,8 * 1,2 = 0,864 \text{ m}^3$$

### Dimensionamiento del fermentador

$$V_{\text{suero}} = \frac{672 \text{ kg}}{1026 \text{ kg/m}^3} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ gal}}{3,785 \text{ L}} = 173,04 \text{ gal}$$

$$V_{\text{libre}} = \pi * \frac{D^2}{4} * H \quad [3.4]$$

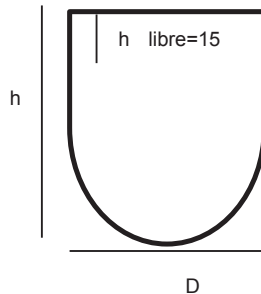
$$V_{\text{libre}} = \pi * \frac{D^2}{4} * 15 \text{ in} * \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} * \frac{1 \text{ L}}{0,03531467 \text{ ft}^3} * \frac{1 \text{ gal}}{3,785 \text{ L}} = 7,344 D^2 \text{ gal/ft}^2$$

$$h = 2D \quad [3.5]$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi * \frac{D^2}{4} * h = \pi * \frac{D^3}{2} * \frac{1 \text{ L}}{0,03531467 \text{ ft}^3} * \frac{1 \text{ gal}}{3,785 \text{ L}} = 11,752 D^3 \text{ gal/ft}^3$$

$$V_{\text{base}} = 0,416 D^3 * \frac{1 \text{ L}}{0,03531467 \text{ ft}^3} * \frac{1 \text{ gal}}{3,785 \text{ L}} = 3,112 D^3 \text{ gal/ft}^3$$

$$V_{\text{suero}} + V_{\text{libre}} = V_{\text{cilindro}} + V_{\text{base}} \quad [3.6]$$



$$D = 2,443 \text{ ft} = 74,46 \text{ cm}$$

$$h = 2 * 74,46 = 148,92 \text{ cm}$$

Para el agitador

$$D_a = \text{Diámetro agitador} = \frac{1}{3} D_t = \frac{1}{3} * 74,46 \text{ cm} = 24,82 \text{ cm} \quad [3.7]$$

$$E = \text{Distancia desde la base} = \frac{1}{3} D_t = \frac{1}{3} * 74,46 \text{ cm} = 24,82 \text{ cm} \quad [3.8]$$

$$W = \text{Ancho de hélice} = \frac{1}{5} D_t = \frac{1}{5} * 24,82 \text{ cm} = 4,96 \text{ cm} \quad [3.9]$$

$$l = \text{Largo de hélice} = \frac{1}{4} D_t = \frac{1}{4} * 24,82 \text{ cm} = 6,21 \text{ cm} \quad [3.10]$$



### Dimensionamiento de desplazamiento positivo

$$TDH = (P \text{ descarga} - P \text{ succión}) * 1,2 \quad [3.11]$$

$$P \text{ descarga} = \frac{H(ft) * \rho(\frac{lb}{ft^3})}{144} \quad [3.12]$$

$$P \text{ descarga} = \frac{3,94ft * 62,74(\frac{lb}{ft^3})}{144}$$

$$P \text{ descarga} = 1,71 \text{ psig}$$

$$TDH = 1,71 * 1,2$$

$$TDH = 2,06 \text{ psig}$$

$$\eta_{bomba} (\sin f) = \frac{\dot{Q} \left(\frac{gal}{min}\right) * TDH(\text{psig})}{1714 * \varepsilon\%} = \frac{173,03 \left(\frac{gal}{min}\right) * 2,06\text{psig}}{1714 * 0,75} = 0,20 \text{ HP} \quad [3.13]$$

$$f = 1,25$$

$$\eta_{bomba} = \eta_{bomba} (\sin f) * f = 0,20 * 1,25 \quad [3.14]$$

$$\eta_{bomba} = 0,25 \text{ HP}$$

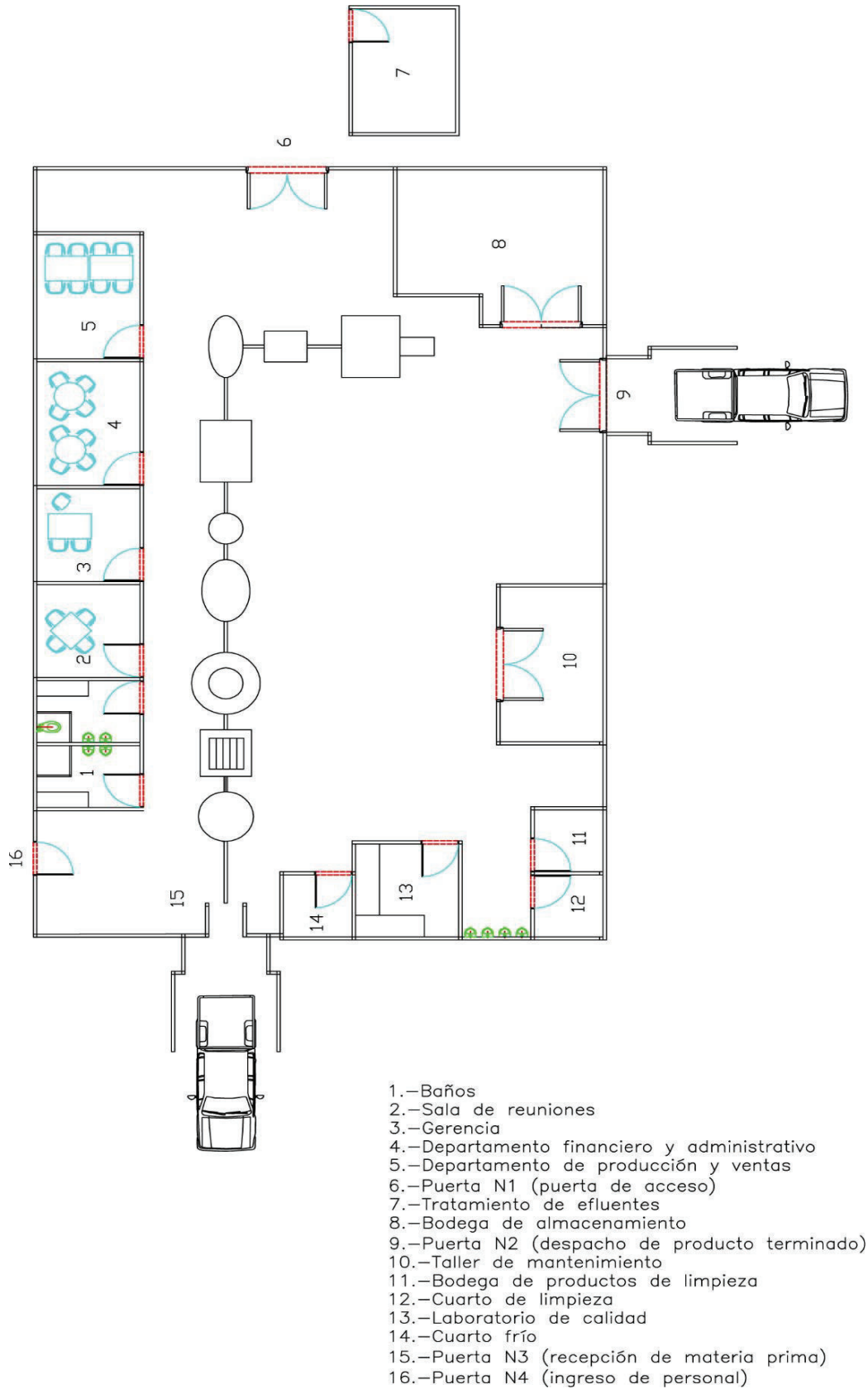
#### 3.3.5.4. Distribución de áreas

La distribución de áreas en una planta se da en función del espacio físico disponible, de modo que exista facilidad para el movimiento de material, equipos y trabajadores. Casp (2005), considera 6 aspectos principales para la distribución, y son:

- Integración de factores que afectan la producción
- Distancias mínimas
- Circulación en la planta
- Utilización efectiva del área disponible
- Seguridad de los trabajadores
- Posibilidad de reorganización (p.69).

En este trabajo, se consideraron las siguientes áreas:

- Gerencia, dirección administrativa, financiera, de producción y ventas
- Laboratorio de control de calidad
- Área de recepción de materia prima
- Cuarto frío
- Cuarto de limpieza, bodega de productos de limpieza y taller de reparaciones
- Bodega de almacenamiento de producto terminado
- Baños y cambiadores
- Tratamiento de efluentes (Zona externa), como se muestra en la Figura 3.10



**Figura 3.10.** Layout de la planta productora de ácido láctico

### 3.3.6. EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación financiera contempló cotizaciones de equipos, el cálculo de inversiones, costos de operación (fijos y variables), indicadores VAN, TIR, punto de equilibrio y flujos de caja a 10 años.

### 3.3.6.1. Inversiones

La Tabla 3.5 presenta el valor invertido en maquinaria y equipos para el funcionamiento de la planta de producción de ácido láctico.

**Tabla 3.5.** Inversión en maquinaria y equipo para la planta de producción de ácido láctico.

Equipo	Unidades	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Tanque de almacenamiento	1	2 500	2 500
Pasteurizador	1	20 000	20 000
Cámara de refrigeración	1	9 000	9 000
Fermentador	1	45 000	45 000
Filtrador	2	2 800	5 600
Evaporador	1	15 000	15 000
Filtro de carbón	2	750	1 500
Envasadora	1	30 000	30 000
Etiquetadora	1	20 800	20 800
Bombas	2	600	1 200
Montacargas	1	16 485	16 485
Caldero	1	95 000	95 000
Tuberías de acero inoxidable	7	12,80	102,08
Estantes-Pallets	30	8,50	255
Instalación y montaje			15 060
<b>Total</b>			<b>277 502</b>

En la Tabla 3.6 se presentan los costos incurridos en la adquisición del terreno y

la construcción de la planta, mientras que en la Tabla 3.7 se muestran los gastos en adquisición de equipos y muebles, y en la Tabla 3.8 los costos por rubros de activos diferidos.

**Tabla 3.6.** Inversión en terreno y construcciones para la planta de producción de ácido láctico

Concepto	Área (m <sup>2</sup> )	Precio (\$/m <sup>2</sup> )	Precio total (\$)
<u>Terreno</u>	1 000	15	15 000
<u>Construcciones</u>			
Fábrica	384	300	115 200
Cerramiento	100	120	12 000
Guardianía	8	125	1 000
<b>Total</b>			<b>143 200</b>

**Tabla 3.7.** Inversión en equipos y muebles para la planta de producción de ácido láctico

Concepto	Unidades	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Computadoras	10	669,3	6 693
Escritorios	10	210	2 100
Sillas	16	100	1 600
Archivadores	10	85	850
Mesas	1	750	750
Impresoras	2	350	700
Equipo de laboratorio	1	1 200	1 200
Equipos para el taller	1	1 000	1000
<b>Total</b>			<b>14 893</b>

**Tabla 3.8.** Activos diferidos a 10 años para la planta de producción de ácido láctico

Concepto	Precio total (\$)
Constitución de la sociedad y patente	750
Planeación e integración (3 % de la inversión total)	14 059
Ingeniería del proyecto (3,5 % activos en producción)	5 012
Puesta en marcha (0,15% de maquinaria y equipos)	2 259
Movilización	600
<b>Total</b>	<b>22 680</b>

La Tabla 3.9 agrupa las inversiones realizadas en maquinaria, equipos, terrenos,

construcciones, muebles de oficina, laboratorios y talleres.

**Tabla 3.9. Inversiones**

<b>Inversión Total</b>		
<b>Rubro</b>	<b>Valor</b>	<b>%</b>
<u>Activos fijos</u>		
Maquinaria y Equipos	277 502	57,67
Terrenos y Construcciones	143 200	29,76
Equipos y muebles de oficina, Laboratorios y talleres	14 893	3,10
Imprevistos (5 %)	22 914	4,76
<u>Activos Diferidos</u>	22 680	4,71
<b><u>Total</u></b>	<b>481 189</b>	<b>100</b>

Se puede observar que el mayor porcentaje de inversión recae sobre la adquisición de maquinaria y equipos con un 57,67 %, seguido de la adquisición del terreno y construcciones con un 29,76 %. Los costos por equipos, muebles de oficina, laboratorios y talleres, junto con los activos diferidos e imprevistos suman el 12,57 % de un total a invertir de \$ 481 189 dólares. De este rubro, el 45 % es capital propio y el resto se financiará a través de una entidad bancaria.

### 3.3.6.2. Costos de operación

Los costos de operación de la planta productora de ácido láctico incluyen los costos de producción, gastos administrativos, financieros y ventas.

Como parte de los costos de producción figuran los costos de los materiales, mano de obra (directa e indirecta), y carga fabril que a su vez involucra las depreciaciones, costos de suministros, reparación y mantenimiento, seguros e imprevistos. En las Tablas 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15 se presenta a detalle el desglose de cada concepto, y en la Tabla 3.16 se muestra el resumen del total de los costos de producción.

**Tabla 3.10.** Materiales directos para la producción de ácido láctico

Denominación	Cantidad (kg/año)	Precio (\$/kg)	Precio total (\$)
Suero de leche	161 280,00	-	-
CHR-HANSEN R-704	15,72	5,00	78,60
Carbonato de calcio	786,00	7,98	6 272,28
Ácido sulfúrico	4 269,60	0,01	34,16
Garrafas (2,5 L) y etiquetas	3 650,00	0,28	1022,50
<b>Total</b>			<b>7 407,04</b>

**Tabla 3.11.** Mano de obra indirecta

Cargo	Salario (\$)	Aporte IESS (\$)	Mensual bonificación	Annual Bonificación	Fondos de reserva	Décimo cuarto	Décimo tercero	Total anual
Jefe de calidad	1 100	122,65	1 222,65	14 671,80	1 222,65	375	1 222,65	17 492,10
Jefe de producción	1 100	122,65	1 222,65	14 671,80	1 222,65	375	1 222,65	17 492,10
Bodeguero	450,00	50,18	500,18	6 002,10	500,18	375	500,18	7 377,45
Personal de mantenimiento	750,00	83,63	833,63	10 003,50	833,63	375	833,63	12 045,75
Guardia	550,00	61,33	611,33	7 335,90	611,33	375	611,33	8 933,55
							<b>Total</b>	<b>63 340,95</b>

**Tabla 3.12.** Materiales indirectos

Denominación	Cantidad (gal)	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Lubricantes	42,00	5,00	210,00
Combustible	2 000,00	0,700	1 400,00
		<b>Total</b>	<b>1 610,00</b>

**Tabla 3.13.** Suministros

Concepto	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Energía eléctrica (kW/h)	5 076,00	0,11	558,00
Agua (m <sup>3</sup> )	100,00	0,75	75,00
		<b>Total</b>	<b>633,00</b>

**Tabla 3.14.** Depreciaciones

Concepto	Vida útil (años)	Precio (\$)	Precio anual (\$)
Construcciones	15	128 200,00	8 547,00
Maquinaria y equipo	10	262 442,00	26 244,00
Laboratorio	3	1 200,00	400,00
Talleres	4	1 000,00	250,00
Repuestos y accesorios	4	250,00	62,50
		<b>Total</b>	<b>35 503,50</b>

**Tabla 3.15.** Reparaciones, mantenimiento y seguros

Reparaciones y mantenimiento			
Concepto	Porcentaje	Precio (\$)	Precio total (\$)
Edificios y construcciones	1	128 200,00	1 282,00
Maquinaria y Equipo	4	277 502,00	11 100,00
		<b>Total</b>	<b>12 382,00</b>
Seguros			
Edificios y construcciones	1	128 200,00	1 282,00
Maquinaria y Equipo	5	277 502,00	13 875,00
		<b>Total</b>	<b>15 157,00</b>



**Tabla 3.16.** Costos anuales de producción

Concepto	Valor (\$)	%
Materiales Directos	7 407,04	5,20
Mano de obra directa	-	-
<u>Carga Fabril</u>		
Mano de obra indirecta	63 340,95	44,46
Materiales indirectos	1 610	1,13
Depreciación	35 503,37	24,92
Suministros	633,36	0,44
Reparación y mantenimiento	12 382,08	8,69
Seguros	15 157,10	10,64
Imprevistos	6 431,34	4,51
<b>Total</b>	<b>142 465,25</b>	<b>100</b>

En la Tabla 3.16 se puede observar que el mayor porcentaje de los costos de producción recae sobre el concepto de mano de obra indirecta, mientras que el rubro de materia prima es solo el 5,20 % de todos los costos de producción. Esto supone que, si se pretendiera reducir los costos, se vería necesario un recorte de personal.

Los gastos administrativos involucran los pagos del personal administrativo, la depreciación de muebles y equipos de oficina e imprevistos (2 %). A continuación, en la Tabla 3.17 se presenta un desglose de los gastos del personal administrativo.

**Tabla 3.17.** Gastos del personal administrativo

Cargo	Salario (\$)	Aporte IESS (\$)	Mensual bonificación	Anual Bonificación	Fondos de reserva	Décimo cuarto	Décimo tercero	Total anual
Gerente	2 000,0	223,0	2 223	26 676	2 223	375	2 223,0	31 497,0
Administrador	1 100,0	122,6	1 222,6	14 671,8	1 222,6	375	1 222,6	17 492,1
Financiero	1 100,0	122,6	1 222,6	14 671,8	1 222,6	375	1 222,6	17 492,1
Adquisiciones	1 100,0	122,6	1 222,6	14 671,8	1 222,6	375	1 222,6	17 492,1
Secretarias (3)	550,0	61,3	611,3	7 335,9	611,3	375	611,3	8 933,5
							<b>Total</b>	<b>110 773,9</b>

Los \$ 110 773,95 dólares empleados en el pago de personal, junto a los \$ 1 489 por la depreciación de muebles y equipos de oficina (vida útil = 10 años), \$ 50 por concepto de amortización por la constitución de la sociedad y \$ 2 246 para imprevistos, da un total de gastos administrativos de \$ 114 559,51 dólares.

Los gastos en ventas contemplan aquellos incurridos en pago de personal, promoción, publicidad, distribución y se suma un 5 % para imprevistos, tal como lo muestran las Tablas 3.18 y 3.19.

**Tabla 3.18.** Gastos del personal de ventas

Cargo	Salario (\$)	Aporte IESS (\$)	Mensual bonificación	Anual Bonificación	Fondos de reserva	Décimo cuarto	Décimo tercero	Total anual
Jefe de ventas	1 100,0	122,6	1 222,6	14 671,8	1 222,6	375,0	1 222,6	17 492,1
Marketing y mercadeo	950,0	105,9	1 055,9	12 671,1	1 055,9	375,0	1 055,9	15 157,9
							<b>Total</b>	<b>32 650,0</b>

**Tabla 3.19.** Gastos en promoción y publicidad

Denominación	Precio anual (\$)
Publicidad	2 000,0
Distribución	650,0
Imprevistos (5 %)	1 765,0
<b>Total</b>	<b>4 415,0</b>

Los gastos financieros corresponden a los intereses generados por el préstamo realizado a una entidad financiera en la fase pre-operativa del proyecto. La cantidad financiada fue de \$ 277 135 dólares a una tasa efectiva anual del 10,8 %, lo que resulta en un gasto financiero de \$ 29 958,29 dólares.

Tras haber evaluado los costos de operación, en la Tabla 3.20 se muestra el cálculo para la obtención del costo unitario de la garrafa de ácido láctico.

**Tabla 3.20.** Costo unitario de la garrafa de 2,5 L de ácido láctico

Denominación	(\$)	%
Costos de producción	142 465,25	80,75
Costos en ventas	1 765,00	1,00
Gastos administrativos y generales	2 246,26	1,27
Gastos de financiamiento	29 958,29	16,98
<b>Total</b>	<b>176 434,81</b>	<b>100</b>
<b>Unidades producidas</b>	<b>3 600,00</b>	
<b>Costo unitario del producto</b>	<b>49,01</b>	

### 3.3.6.3. Punto de equilibrio

El punto de equilibrio refleja el valor en el cual los valores de los costos totales son igualados por los valores de las ventas, además, este punto indica la producción mínima que debe realizarse en la industria para no generar pérdidas. En la Figura 3.11 se observa que no existe un cruce entre la línea de los costos totales con la de los ingresos, lo cual sugiere que para alcanzarlo, se requeriría de una mayor producción de ácido láctico, y una reducción en los costos operativos

de la planta

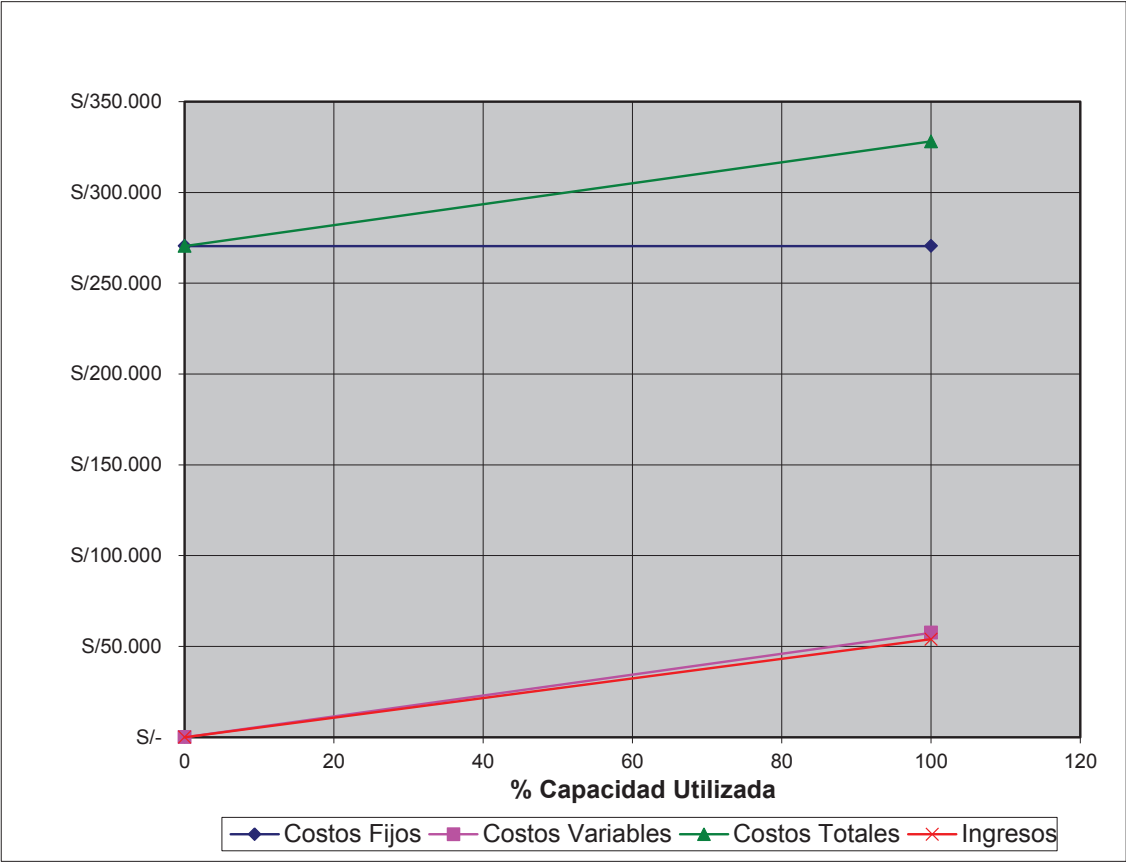


Figura 3.11. Punto de equilibrio

Se realizó además el flujo de caja (entrada y salida de efectivo) para un periodo de 10 años, el cual se presenta en la Tabla 3.21.

Se puede observar que durante el periodo analizado, en ningún año la empresa

Flujo neto de fondos												
Concepto	Año											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Inversión inicial	503 881,80											
Ingreso por ventas	0	54 000	56 180	58 449	60 808	63 264	65 818	68 475	71 240	74 116	77 109	
Costos directos	0	7 407	7 703	8 011	8 332	8 665	9 012	9 372	9 747	10 137	10 543	
Carga Fabril	0	99 555	103 537	107 679	111 986	116 465	121 124	125 969	131 007	136 248	141 698	
Gastos Ventas	0	37 065	38 548	40 090	41 693	43 361	45 095	46 899	48 775	50 726	52 755	
Gastos administrativos	0	114 560	119 142	123 908	128 864	134 018	139 379	144 954	150 753	156 783	163 054	
Costos Totales	0	258 586	268 930	279 687	290 875	302 510	314 610	327 194	340 282	353 893	368 049	
Utilidad Marginal	0	-204 586	-212 750	-221 239	-230 066	-239 246	-248 792	-258 719	-269 042	-279 777	-290 941	
Impuestos	0	-51 147	-53 187	-55 310	-57 517	-59 812	-62 198	-64 680	-67 261	-69 944	-72 735	
Valor Rescate Infraestructura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	71 600	
Valor Rescate Equipos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31 507,51	
Flujo Neto Efectivo	-503 881,80	-153 440	-159 562	-165 929	-172 550	-179 435	-186 594	-194 039	-201 782	-209 833	-115 098	
Valor Actual	-503 881,80	-153 440	-159 562	-165 929	-172 550	-179 435	-186 594	-194 039	-201 782	-209 833	-115 098	
Rentabilidad anual		-59,34 %	-59,33 %	-59,33 %	-59,32 %	-59,32 %	-59,31 %	-59,30 %	-59,30 %	-59,29 %	-31,27 %	
Tasa de descuento anual		0%										

Tabla 3.21. Flujos de caja

posee liquidez. La viabilidad del proyecto se ve definida por los valores del VAN, o el Valor Actual Neto, y el TIR, los cuales se muestran a continuación en la Tabla 3.22.

**Tabla 3.22.** Indicadores financieros VAN y TIR

Indicador financiero	Valor
Valor Actual Neto (VAN)	-2 242 142,95
Tasa interna de retorno (TIR)	-30,76 %

Si el valor del VAN es negativo, como en este caso, indica que la empresa no genera valor más bien, el proyecto pierde dinero, por lo cual no es viable al no alcanzar la rentabilidad mínima para la inversión, lo cual se confirma con el valor del TIR . Esto concuerda con la literatura que manifiesta que una de las barreras en el procesamiento del suero lácteo, es que se requieren de grandes cantidades para poder generar rédito alguno (Villegas, 2013, p. 63).

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- Entre los cultivos comerciales homofermentativos CHR-HANSEN R-703, R-704 y R-708, el R-704 mostró una mayor efectividad en la fermentación de lactosa a ácido láctico, obteniéndose una acidez del  $34,87 \pm 0,32$  %, trabajando a una concentración del cultivo del 0,01 % en un tiempo de 24 horas a 24 °C.
- La producción de ácido láctico tras la inoculación del cultivo R-704 en el suero lácteo, a concentraciones del 0,01; 0,05 y 0,10 %, no presentó diferencias significativas entre el segundo y tercer tratamiento ( $p < 0,05$ ), sin embargo, bajo la concentración del 0,01 % del cultivo, se obtuvo la mayor producción del metabolito a razón de  $60,6 \text{ g L}^{-1}$ , trabajando a la temperatura óptima de crecimiento de 37 °C.
- El modelo cinético que mejor se relaciona con el bioproceso de fermentación es la ecuación de Luedeking y Piret.
- Los valores de los índices financieros VAN y TIR (\$ -2 242 142,95 y -30,76 %) mostraron que no es viable la creación de una industria productora de ácido láctico que emplee únicamente como materia prima al suero lácteo generado por la Industria Quesera Guerrero.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Agregar al suero una fuente extra de nitrógeno (como la levadura) y una fuente de glucosa y realizar la fermentación con el cultivo R-704 bajo las concentraciones de 0,05 y 0.10 % del cultivo.
- Realizar un estudio hidrolizando la lactosa, de modo que se pueda probar este sustrato con otros microorganismos
- Considerar el lactosuero disponible en la región Sierra para una nueva evaluación de la posibilidad de la creación de una industria productora de ácido láctico a partir de suero de leche.
- Implementar en el diseño de la planta un proceso de purificación que permita obtener un ácido láctico más puro.



## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acofarma, S. (2015). *Ficha técnica: Ácido láctico*. Recuperado de [http://www.acofarma.com/jdownloads/Fichas\\_Tecnicas/a061.htm](http://www.acofarma.com/jdownloads/Fichas_Tecnicas/a061.htm) (Enero, 2017)
2. Ansorena, D., Aquerrata, Y., Astiasarán, I., Bello, J., Delgado, M., Cid, M. y Zulet, M. (2003). *Alimentos Composición y Propiedades*. (1era Ed.) Madrid, España: McGraw-Hill.
3. ARCSA. (2015). *Empresas certificadas*. Recuperado de [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjV8\\_myvN7RAhVJLyYKHVz5AbYQFggyMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.controlsanitario.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2Fdownloads%2F2014%2F06%2FEMPRE SAS-CERTIFICADAS-PAGINA-WEB.xls](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjV8_myvN7RAhVJLyYKHVz5AbYQFggyMAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.controlsanitario.gob.ec%2Fwp-content%2Fuploads%2Fdownloads%2F2014%2F06%2FEMPRE SAS-CERTIFICADAS-PAGINA-WEB.xls) (Enero, 2017).
4. Arias, C. (2003). *Ciencia de la Leche*. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=bW\\_ULacGBZMC&pg=PA260&pg=PA260&dq=cp+del+lactosuero&source=bl&ots=QM-n45-3hq&sig=axEwSuCeO1Kr5hujqZL1gklilCU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwixsdjyzuzSAhUC4iYKHZ\\_nCpMQ6AEIJTAC#v=onepage&q=cp%20del%20lactosuero&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=bW_ULacGBZMC&pg=PA260&pg=PA260&dq=cp+del+lactosuero&source=bl&ots=QM-n45-3hq&sig=axEwSuCeO1Kr5hujqZL1gklilCU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwixsdjyzuzSAhUC4iYKHZ_nCpMQ6AEIJTAC#v=onepage&q=cp%20del%20lactosuero&f=false) (Marzo, 2017)
5. Arias, M., Henao, L. y Castrillón, Y. (2009). Lactic acid production by fermentation of coffee mucilage with *Lactobacillus bulgaricus* NRRL-B548. *DYNA (Colombia)*, 76(158), 147–153. Recuperado de <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-75249093126&partnerID=40&md5=8ed356920498aabd118f797ca3ea> (Enero, 2017)
6. Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. (4ta. ed.) México, México: Pearson

7. Barragán, F. (2010). *Redes Espaciales de Abastecimiento de Lácteos en Ecuador*. Recuperado de [http://www.investigacionagroeconomica.gob.ec/images/estudios\\_agro/fernando\\_barragan.pdf](http://www.investigacionagroeconomica.gob.ec/images/estudios_agro/fernando_barragan.pdf)
8. Callejas, J., Prieto, F., Reyes, V. E., Marmo, Y. y Méndez, M. A. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*, 22(1). Recuperado de <http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/viewFile/304/282>
9. Casp, A. (2005). *Diseño de plantas agroindustriales*. Madrid, España: Mundi-Prensa
10. Cebrian, M., Renteria, M., Gutierrez, M., Cebrián, M., Rentería, M., Gutierrez, M. y San, D. (2013). Aprovechamiento integral del lactosuero generado en el sector lácteo : proyecto Valorlact. *AZTI-Tecnalia*, 1(12), 30–37. doi:10.13140/RG.2.1.3605.6566
11. CIL. (2016). *Historia de CIL Ecuador | Centro De La Industria Láctea*. Recuperado de <http://cilecuador.org/widget-positions/> (Enero, 2017)
12. Contreras, M. E., Domínguez, R. M. y González, A. (2007). Proceso de biotransformación láctica del jugo de Aloe vera. *Tecnología, Ciencia Y Educacion. Instituto Mexicano de Ingenieros Quimicos*, 22(1), 35–42. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48222105> (Febrero, 2017)
13. De Franco, M. (2016). *Cómo curarse con el yogur*. De Vacchi. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=9llrDQAAQBAJ&pg=PT17&dq=el+yogur&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwje8a3mtN7RAhXD2SYKHZyQAY8Q6wEIlzAA#v=onepage&q=elyogur&f=fals> (Febrero, 2017)

14. Deltaplastic. (2017). *Fábrica de envases plásticos*. Recuperado de <http://www.deltaplastic.com.ec/>
15. Durando, M., Sepúlveda, U., Gutiérrez, M. y Londoño, A. (2012). Caracterización de ácidos grasos, diacetilo y acetoína en queso colombiano. *Vitae*, 1(19), 376–378. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914118> (Febrero, 2017)
16. Escobar, L. F., Rojas, C. A., Giraldo, G. A. y Sanabria, L. P. (2010). Evaluación del crecimiento de *Lactobacillus casei* y producción de ácido láctico usando como sustrato el suero de leche de vacuno. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 1(20). Recuperado de <http://www.riuw.edu.co/index.php/riuw/article/view/299/288> (Diciembre, 2016)
17. FAO. (2014). *Productos lácteos*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/008/y9492s/y9492s09.htm> (Enero, 2017)
18. Fogler, S. (2001). *Elementos de Ingeniería de las Reacciones Químicas*. (3era Ed.) México, México:Prentice Hall
19. Franklin, B. (2011). *El libro Blanco de la Leche*. (1era Ed.). España: McGraw-Hill
20. Garcia, C., Arrázola, G. y Durango, A. (2010). Biotechnological Production of Lactic Acid. *Temas Agrarios*, 15(2), 9–26. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4149619> (Enero, 2017)
21. García, C. A., Montiel, R. L. A., y Borderas, Y. (2014). Grasa Y Proteína De La Leche De Vaca: Componentes, Síntesis Y Modificación. *Arch. Zootec*, 63, 85–105. Recuperado de [http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/19\\_10\\_27\\_3153REVISIONGrasaGarcia.pdf](http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/19_10_27_3153REVISIONGrasaGarcia.pdf) (Febrero, 2017)

22. Gil, A. (2010). *Tratado de nutrición / Composición Y Calidad Nutritiva*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=hcwBJ0FNvqYC&pg=PT31&dq=química+de+la+leche&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9y9Wf8c7RAhVBTSYKHAMCAwIQ6AEIHzAB#v=onepage&q=química+de+la+leche&f=false> (Febrero 2017)
23. Gil, R. H., Domínguez, R. M. y Pacho, J. D. (2008). Bioproducción de ácido láctico a partir de residuos de cáscara de naranja: Procesos de separación y purificación. *Tecnología, Ciencia Y Educación Del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos (IMIQ)*, 23(2), 79–90. Recuperado de [http://web.imiq.org/attachments/313\\_79-90.pdf](http://web.imiq.org/attachments/313_79-90.pdf) (Febrero, 2017)
24. Guevara, L., Cuartas, D. y Llano, F. (2013). *Kappa caseína de la leche: aspectos bioquímicos, moleculares, productivos y nutricionales*. *Revista Médica de Risaralda* 20 (1), 29-33. Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistamedica/article/view/8531/5685> (Enero, 2017)
25. Hansen. (2015). *Cultivos para queso*. Recuperado de <http://www.chr-hansen.es/productos/cultivos-lacteos/cultivos-para-queso.html>
26. INEC. (2014). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC*. Recuperado de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-nece/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2014-2015/2014/Informe%20ejecutivo%20ESPAC%202014.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-nece/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2014-2015/2014/Informe%20ejecutivo%20ESPAC%202014.pdf) (Abril, 2017)
27. INEN. (2011). *Suero de leche líquido. Requisitos*. Recuperado de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2594.2011> (Febrero, 2017)

28. INEN. (2012). *Norma general para quesos frescos no madurados. Requisitos*. Recuperado de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1528.2012.pdf> (Febrero, 2017)
29. INEN. (2014). Ecuatoriana Nte Inen-Iso / Tr 11773. Recuperado de [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NO\\_RMAS\\_2014/ACO/17122014/nte-inen-iso-707-ext.\(Noviembre, 2016](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NO_RMAS_2014/ACO/17122014/nte-inen-iso-707-ext.(Noviembre, 2016)
30. Infante, D. (2008). Intolerancia a la lactosa: en quién y por qué. *Anales de Pediatría*, 69(2), 103–105. doi: 10.1157/13124885
31. Isidro, F. (2007). *Manual del Entrenador Personal. Del fitness al wellness*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=hICIFR-TYv8C&pg=PA437&dq=suplemento+proteico+a+base+de+siero+de+leche&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwivzFWYm-PRAhWCRiYKHcP9AHsQ6AEIMjAF#v=onepage&q=suplemento+proteico+a+base+de+siero+de+leche&f=false> (Enero, 2017)
32. Isique, H. (2014). *Elaboración de quesos*. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=u7kuDgAAQBAJ&pg=PA38&dq=LIRA+PARA+QUESOS&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwipj4eJqZrTAhWI2SYKHZkICygQ6AEIHTAB#v=onepage&q=LIRA%20PARA%20QUESOS&f=false> (Abril, 2017)
33. Jakymec, M., Moran, H., Páez, G., y Ferrer, J. M. Z. (2001). Cinética de la producción de ácido láctico por fermentación sumergida con lactosuero como sustrato. *Revista Científica FCV-LUZ*, 6(1), 53–59. Recuperado de <http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/cientifica/article/viewFile/14751/14728> (Enero, 2017)
34. Jurado, H., Ramírez, C. y Aguirre, D. (2013). Cinética de fermentación de *Lactobacillus plantarum* en un medio de cultivo enriquecido como potencial probiótico\*. *Veterinaria Y Zootecnia*, 7(2), 37–53.

Recuperado de <http://vip.ucaldas.edu.co/vetzootec/downloads/v7n2a03.pdf> (Enero, 2017)

35. Mariño, J. R., Vasek, O. M. y Fusco, A. J. V. (2005). Efectos de la concentración de calcio libre y el pH del agente coagulante en la coagulación enzimática de la leche. 2 (1),1–3. Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/8-Exactas/E-047.pdf> (Febrero, 2017)
36. MCPE. (2014). Exitosa exportación de leche en polvo ecuatoriana | Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad. Recuperado de <http://www.produccion.gob.ec/exitosa-exportacion-de-leche-en-polvo-ecuatoriana/> (Enero, 2017)
37. Miranda, O., Fonseca, P., Ponce, I., Cedeño, C., Rivero, L., y Vázquez, L. (2011). Elaboración de una bebida fermentada a partir del suero de leche que incorpora *Lactobacillus acidophilus* y *Streptococcus thermophilus*. *Rev Med Urug*, 27(4), 228–235. doi: 10.17843/rpmesp.2016.332.2170
38. Ortiz, M. (2015). *Quesos y algunos cultivos*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/MarthaEdithOrtiz/quesos-y-algunos-cultivos> (Marzo, 2017)
39. Panesso, G., Pardo, M. y Sepúlveda, L. (2015). Producción de Ácido láctico (*Lactobacillus casei*), 1(6), 1-15. Recuperado de [https://www.researchgatenet/publication/278414362\\_Produccion\\_de\\_Acido\\_lactico\\_lactobacillus\\_casei](https://www.researchgatenet/publication/278414362_Produccion_de_Acido_lactico_lactobacillus_casei) (Diciembre, 2016)
40. Paper, C., Vela-g, G. y Guti, T. (2015). Experiencias del uso de suero de leche en comunidades de Chiapas , Mexico. *Agronegocios Y Tecnología En La Red*, 1(10), 1–6. Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/274253848\\_Experiencias\\_d\\_el\\_uso\\_de\\_suero\\_de\\_leche\\_en\\_comunidades\\_de\\_Chiapas\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/274253848_Experiencias_d_el_uso_de_suero_de_leche_en_comunidades_de_Chiapas_Mexico)  
(Enero, 2016)

41. Pérez, R., López, M., Bautista, E., García, A., Román, R. y Ortiz, R. (2014). Efecto del suero de leche como complemento de la dieta sobre el crecimiento de las vellocidades intestinales y el peso de lechones en la etapa de 6 a 20 kg. *Revista Científica FCV-LUZ*, 24(1), 319–324. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/264273311\\_EFECTO\\_DEL\\_SUERO\\_DE\\_LECHE\\_COMO\\_COMPLEMENTO\\_DE\\_LA\\_DIETA\\_SOBRE\\_EL\\_CRECIMIENTO\\_DE\\_LAS\\_VELLOSIDADES\\_INTESTINALES\\_Y\\_EL\\_PESO\\_DE\\_LECHONES\\_EN\\_LA\\_ETAPA\\_DE\\_6\\_A\\_20\\_KG\\_Effect\\_of\\_Milk\\_Whey\\_as\\_Dietary\\_Supplement\\_on](https://www.researchgate.net/publication/264273311_EFECTO_DEL_SUERO_DE_LECHE_COMO_COMPLEMENTO_DE_LA_DIETA_SOBRE_EL_CRECIMIENTO_DE_LAS_VELLOSIDADES_INTESTINALES_Y_EL_PESO_DE_LECHONES_EN_LA_ETAPA_DE_6_A_20_KG_Effect_of_Milk_Whey_as_Dietary_Supplement_on) (Febrero, 2017)
42. Quezada, I. (2013). *Inteligencia Competitiva para el sector Agroalimentario*. Recuperado de [www.agrimundo.cl/.../120730\\_rep\\_cr1\\_trazabilidad-bovina-en-los-principales-paises](http://www.agrimundo.cl/.../120730_rep_cr1_trazabilidad-bovina-en-los-principales-paises) (Enero, 2017)
43. Ramírez, C., y Vélez, J. F. (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. *Temas Selectos De Ingeniería De Alimentos*, 2(6), 18. Recuperado de <http://web.udlap.mx/tsia/files/2013/12/TSIA-62Ramirez-Lopez-et-al-2012.pdf> (Diciembre, 2016)
44. Ramírez, S. (2015). El ecuatoriano consumió 2,45 litros de leche anuales menos el 2015 | El Comercio. Recuperado de <http://www.elcomercio.com/datos/ecuatoriano-consumio-litros-leche-data.html> (Enero, 2017)
45. Real, L. (2013). Industria Láctea Con Mejores Condiciones De Producción. *Gestión*, 36–39. Recuperado de

[http://www.revistagestion.ec/wp-content/uploads/2013/08/226\\_Industria-láctea.pdf](http://www.revistagestion.ec/wp-content/uploads/2013/08/226_Industria-láctea.pdf) (Enero, 2017)

46. Rivera, F. (2013). *Diseño de una planta piloto para la producción de bioetanol*. Recuperado de [http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20046/fichero/Anexo %252FA NEXO+6.pdf](http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20046/fichero/Anexo%252FA%20NEXO+6.pdf) (Febrero, 2017)
47. Romero, R., y Mestres, J. (2011). *Productos lácteos*. UPC. Recuperado de [https://books.google.com.ec/books?id=l5kpzUzUcikC&printsec=frontcover&dq=Tecnología+de+los+productos+lácteos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjCmlug\\_tnRAhUBSCYKHf69AkIQ6AEIGTAA#v=onepage&q=Tecnología de los productos lácteos&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=l5kpzUzUcikC&printsec=frontcover&dq=Tecnología+de+los+productos+lácteos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjCmlug_tnRAhUBSCYKHf69AkIQ6AEIGTAA#v=onepage&q=Tecnología%20de%20los%20productos%20lácteos&f=false) (Febrero, 2017)
48. Sánchez S., G. L., Gil G., M. J., Gil G., M. a., Giraldo R., F. J., Millán C., L. J. y Villada R., M. E. (2009). Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante microorganismos eficientes. *Producción Mas Limpia*, 4(2), 65–74. Recuperado de [http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/aprovechamiento del suero lacteo.pdf](http://conectarural.org/sitio/sites/default/files/documentos/aprovechamiento%20del%20suero%20lacteo.pdf) (Enero, 2017)
49. Serna, L., y Rodriguez, A. (2005). Producción Biotecnológica de Ácido Láctico. *Ciencia Y Tecnología Alimentaria*, 5(1), 54–65. doi: 10.1080/11358120509487672
50. Suárez, D. A. (2007). *Evaluación y simulación de la producción de ácido láctico con Lactobacillus Casei ATCC 7469, 117*. Recuperado de [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/.../1/DiegoAndres\\_SuarezZuluaiga\\_2007.pdf](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/.../1/DiegoAndres_SuarezZuluaiga_2007.pdf)
51. Urribarrí, L., Vielma, A., Páez de Fernández, G., Ferrer, J. R., Mármol, Z. y Ramones, E. (2004). Producción de ácido láctico a partir de suero de leche, utilizando *Lactobacillus helveticus* en cultivo continuo.



*Revista Científica*, 14(4). Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/28117>

52. Valencia, D., Ramírez, M., Denicia, V., Castillo, R., Leticia, M., Valencia, E. y Ramírez, M. L. (2009). La industria de la leche contaminación del agua. *Elementos: Ciencia Y Cultura*, 16, 27–31. Retrieved from [http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411996004%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:La+industria+de+la+leche+contaminación+del+\(Diciembre, 2016\)](http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411996004%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:La+industria+de+la+leche+contaminación+del+(Diciembre, 2016))
53. Villacís, M. E. (2011). *Elaboración y Evaluación Nutricional de una Bebida Proteica para Infantes a Base de Lactosuero y Leche de Soya*. Recuperado de <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/1583>
54. Villegas, D. (2013). *Políticas industriales en el sector de alimentos*. Recuperado de <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2013/09/2.6 - David-Villegas-MIPRO-Politica-Industrial-de-Desarrollo-en-el-Sector-de-Alimentos.pdf> (Diciembre, 2016)
55. Vizcarra, R., Lasso, R. y Tapia, D. (2015). La Leche del Ecuador. *Centro De La Industria Láctea Del Ecuador*, 183. Recuperado de [http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/publicaciones/la\\_leche\\_del\\_ecuador.pdf](http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/publicaciones/la_leche_del_ecuador.pdf) (Febrero, 2017)
56. Wageningen, U. (2014). *Proteínas de la leche*. Recuperado de: <http://www.food-info.net/es/protein/milk.htm> (Diciembre, 2016)
57. Wee, Y.-J., Kim, J.-N. y Ryu, H.-W. (2006). Biotechnological production of lactic acid and its recent applications. *Food Technology and Biotechnology*, 44(2), 163–172.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

### FOTOGRAFÍAS DE LA INVESTIGACIÓN

El suero obtenido tras la elaboración de queso dulce se presenta a continuación en la Figura Al.1.



**Figura Al.1.** Lactosuero

En la Figura Al.2 se evidencia el pesaje del cultivo homofermentativo CHR-HANSEN R-704 para su posterior agregación al lactosuero

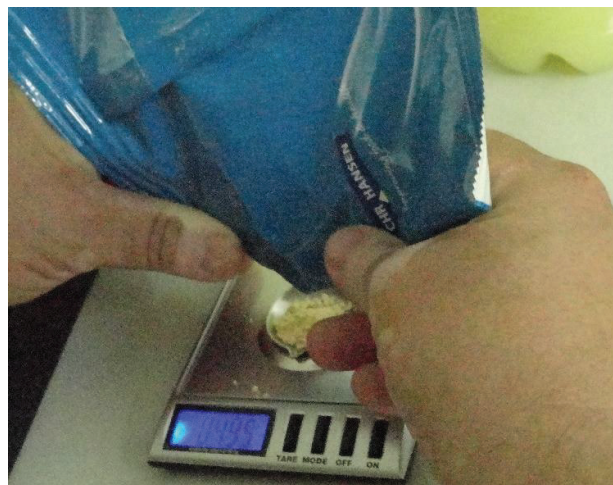




Figura AI.2. Pesaje del cultivo CHR-HANSEN R-704

## ANEXO II

## FICHA TÉCNICA DEL CULTIVO CHR-HANSEN R-703

*improving food & health*

### FD-DVS R-703 pHage Control™

**Informace o výrobku**

Verze: 3 PI-EU-EN 11-23-2011

**Popis** Mezofilní homofermentativní kultura typu O. Kultury ze série pHage Control jsou vysoce rezistentní vůči fágům a jsou určeny pro přímé očkování (DVS). Tyto kultury obsahují speciální kmeny, vybrané pro jejich fágovou rezistenci, schopnost velmi rychle produkovat kyselinu mléčnou a netvořit CO<sub>2</sub>.

**Taxonomie** Lactococcus lactis subsp. lactis  
Lactococcus lactis subsp. cremoris

Balení	Číslo výrobku	Balení	Typ
	100095	10x50u	Sáčky v boxu

**Fyzické vlastnosti** Barva: Špinavě bílá až načervenalá nebo hnědá  
Forma: Granule

**Aplikace** Kultury jsou primárně používány při výrobě sýrů s uzavřenou strukturou, např. čedar, feta a cottage. Kultury mohou být použity i na další fermentované mléčné výrobky, samostatně, i v kombinaci s dalšími mlékařskými kulturami.

**Doporučené dávkování**

Jako základní pravidlo platí, že 1000U lyofilizované kultury odpovídá 100l aktivního provozního zákysu. Při nové aplikaci by mělo být dávkování upraveno na základě provozních zkoušek.

**Doporučený očkovací poměr**


Množství mléka k očkování v l	500	2.000	5.000	10.000	15.000	20.000	25.000
Množství DVS	50U	200U	500	1.000	1.500	2.000	2.500

1


[www.chr-hansen.com](http://www.chr-hansen.com)

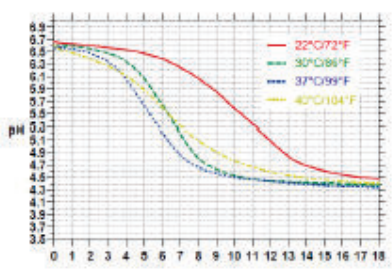
Tyto informace jsou dle našich znalostí pravdivé a správné a jsou předkládány v dobré víře. Nevyplyvá ani v nich není obsažena žádná záruka nebo osvobození proti porušení patentové ochrany. Tyto informace jsou poskytnuty toliko k vašemu zvěření a ověření. Copyright © Chr.Hansen. Všechna práva vyhrazena.

## FICHA TÉCNICA DEL CULTIVO CHR-HANSEN R-703



*improving food & health*



	kultury v U					
<b>Návod k použití</b>	<p>kulturu vyjmete z mrazáku těsně před použitím. Obsah balení nesmí roztát. Dezinfikujte vršek obalu chlorem. Otevřete obal a lyofilizované granule vsypte přímo do pasterizovaného produktu. Pro rovnoměrné rozptýlení granulí nechte míchat 10-15 minut. Více informací týkající se specifických aplikací nejdete v technických brožurách a doporučených návodech.</p>					
<b>Řada</b>	Řada kultur zahrnuje: R-703, R-704, R-707 a R-708					
<b>Skladování a manipulace</b>	< -18°C / <0°F					
<b>Skladovatelnost</b>	Nejméně 24 měsíců od data výroby, pokud je skladováno v souladu s doporučeními. Při skladování při +5 °C (41 °F) je doba použitelnosti nejméně 6 týdnů.					
<b>Technické údaje</b>	<p><b>Kysací křivka</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Čas (hodiny)</b></p>					
	<p><b>Podmínky fermentace:</b>            Laboratorní mléko 9,5% T.S.: 140°C/8 s - 100°C/30min, Očkování: 500u/5000L</p>					

[www.chr-hansen.com](http://www.chr-hansen.com)

Tyto informace jsou dle našich znalostí pravdivé a správné a jsou předkládány v dobré víře. Nevyplyvají ani v nich není obsažena žádná záruka nebo osvobození proti porušení patentové ochrany. Tyto informace jsou poskytnuty toliko k vašemu zvažení a ověření. Copyright©Chr.Hansen. Všechna práva vyhrazena.

2


## ANEXO III

## FICHA TÉCNICA DEL CULTIVO CHR-HANSEN R-704

CHR HANSEN		FD-DVS R-704 pHage Control™	
		Product information	
		Version: 2 PI-EU-EN 01-21-2008	
<b>Description</b>	Mesophilic homofermentative culture, type O. This Chr. Hansen culture range provides phage resistant defined strains for continuous Direct Vat Set (DVS) use. This culture contains specially selected strains chosen for their phage resistance and ability to produce lactic acid quickly. This culture does not produce CO <sub>2</sub> .		
<b>Taxonomy</b>	Lactococcus lactis subsp. lactis Lactococcus lactis subsp. cremoris		
<b>Packaging</b>	<b>Material No:</b> 100096	<b>Size</b> 10X50 U	<b>Type</b> Pouch(es) in box
<b>Physical Properties</b>	<b>Color:</b>	Off-white to slightly reddish or brown	
	<b>Form:</b>	Granulate	
<b>Application</b>	<p><b>Usage</b></p> <p>The culture is primarily applied in the production of cheeses with a closed texture, e.g. Cheddar, Feta and Cottage cheese. The culture can be applied in other fermented dairy products, in combination or not with other lactic cultures.</p> <p><b>Suggested dosage</b></p> <p>As a principal rule 1000 U of freeze-dried DVS cultures will correspond to 100 l of active bulk starter. However, specific usage rates should be determined experimentally before a new application.</p>		
<a href="http://www.chr-hansen.com">www.chr-hansen.com</a>		Page: 1 (4)	
<p><small>The information contained herein is to the best of our knowledge true and correct and presented in good faith. It may be subject to change without further notice. To the best of our knowledge this product does not infringe Intellectual Property Rights of any third party. This information is offered solely for your consideration and verification. Copyright© Chr. Hansen A/S. All rights reserved.</small></p>			

# FICHA TÉCNICA DEL CULTIVO CHR-HANSEN R-704

**FD-DVS R-704 pHage Control™**  
 Product Information  
 Version: 2 PI-EU-EN 01-21-2008



**Recommended inoculation rate**

Amount of milk to be inoculated (in liters)	500	2,000	5,000	10,000	15,000	20,000	25,000
Amount of DVS culture	50 U	200 U	500 U	1,000 U	1,500 U	2,000 U	2,500 U
Amount of milk to be inoculated (in lbs)	1,140	4,500	11,350	22,700	34,000	45,500	57,000
Amount of DVS culture	50 U	200 U	500 U	1,000 U	1,500 U	2,000 U	2,500 U

**Directions for Use**  
 Remove cultures from the freezer just prior to use. **Do not thaw**. Sanitize the top of the pouch with chlorine. Open the pouch and pour the freeze-dried granules directly into the pasteurized product using slow agitation. Agitate the mixture for 10-15 minutes to distribute the culture evenly. The recommended incubation temperature is dependent on the application in which the culture is used. For more information on specific applications see our technical brochures and suggested recipes.

**Range**  
 Cultures in this series include R-703, R-704, R-707 and R-708 (freeze-dried) and R-603, R-604, R-607 and R-608 (frozen).

**Storage and handling**  
 < -18 °C / < 0 °F.

**Shelf life**  
 At least 24 months from date of manufacture when stored according to recommendations.  
 At +5°C (41°F) the shelf life is at least 6 weeks.

[www.chr-hansen.com](http://www.chr-hansen.com)

Page: 2 (4)

The information contained herein is to the best of our knowledge true and correct and presented in good faith. It may be subject to change without further notice. To the best of our knowledge this product does not infringe Intellectual Property Rights of any third party. This information is offered solely for your consideration and verification. Copyright © Chr. Hansen A/S. All rights reserved.

## ANEXO IV

### RESULTADOS DE ACIDEZ OBTENIDA TRAS LA FERMENTACIÓN CON LOS CULTIVOS COMERCIALES R-703, R-704 Y R-708

En las Tablas AIV.1, AIV.2 y AIV.3 se presentan los resultados de acidez obtenidos tras la fermentación con los cultivos R-703, R-704 y R-708 a 24 °C durante 24 h.

**Tabla AIV.1.** Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-703

Cultivo R-703	
Número de repetición	Acidez (g L <sup>-1</sup> )
1	31,00
2	31,60
3	31,40
<u>Media</u>	31,30
<u>Desviación estándar</u>	0,31

**Tabla AIV.2.** Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704

Cultivo R-704	
Número de repetición	Acidez (g L <sup>-1</sup> )
1	35,00
2	34,50
3	35,10
<u>Media</u>	34,87
<u>Desviación estándar</u>	0,32

**Tabla AIV.3.** Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-708

Cultivo R-708	
Número de repetición	Acidez (g L <sup>-1</sup> )
1	29,00
2	29,20
3	28,70
<u>Media</u>	28,97



Desviación estándar	0,25
---------------------	------

### ANEXO V

## RESULTADOS DE ACIDEZ OBTENIDA TRAS LA FERMENTACIÓN CON EL CULTIVO R-704 A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Los resultados obtenidos tras la fermentación con el cultivo R-704, a condiciones de tiempo y temperatura de 24 h y 37 °C, bajo las concentraciones del 0,01; 0,05 y 0,10 % se muestran a continuación en las Tablas AV.1, AV.2 y AV.3. En cada una se detalla la acidez obtenida a 10 distintos tiempos dentro de las primeras 24 horas de fermentación, la media y la desviación estándar.

**Tabla AV.1.** Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704 a una concentración del 0,01 %

Tiempo (h)	Acidez (g L <sup>-1</sup> )			Media	Desviación estándar
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3		
1	3,9	4,1	4,0	4,0	0,1
2	5,2	4,9	5,0	5,0	0,2
3	5,0	4,8	4,9	4,9	0,1
5	10,0	10,3	9,9	10,1	0,2
7	23,0	22,8	23,1	23,0	0,2
10	35,0	34,7	34,9	34,9	0,2
13	49,1	48,7	49,1	48,9	0,2
16	60,5	60,7	60,6	60,6	0,1
20	60,1	60,2	60,3	60,2	0,1
24	59,0	58,7	59,5	59,5	0,4

**Tabla AV.2.** Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704 a una concentración del 0,05 %

Tiempo (h)	Acidez (g L <sup>-1</sup> )			Media	Desviación estándar
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3		
1	4,8	4,4	4,2	4,5	0,3
2	5,1	4,8	5,0	4,9	0,2
3	7,0	7,3	7,3	7,2	0,2

5	11,1	10,9	11,2	11,1	0,2
---	------	------	------	------	-----

**Tabla AV.2.** Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704 a una concentración del 0,05 % (**continuación...**)

Tiempo (h)	Acidez (g L <sup>-1</sup> )			Media	Desviación estándar
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3		
7	24,8	24,7	24,8	24,77	0,06
10	35	34,8	35	34,93	0,12
13	47	47,1	47,2	47,1	0,1
16	53,3	53,3	53	53,2	0,17
20	53	52,8	52,8	52,87	0,11
24	51,6	51,5	51,8	51,63	0,15

**Tabla AV.3.** Acidez resultante tras la fermentación del suero lácteo con el cultivo R-704 a una concentración del 0,10 %

Tiempo (h)	Acidez (g L <sup>-1</sup> )			Media	Desviación estándar
	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3		
1	4	4	4,2	4,06	0,12
2	5	5,3	5,2	5,17	0,15
3	6	6	6,2	6,07	0,12
5	11,8	11,8	12	11,87	0,12
7	20,4	20,1	20,1	20,2	0,17
10	27	27	27,2	27,07	0,12
13	34,7	34,8	34,8	34,77	0,06
16	42,2	42	42,2	42,13	0,12
20	42	41,5	41,6	41,7	0,26
24	41	40,8	40,8	40,86	0,12

## ANEXO VI

### RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL PROCESO FERMENTATIVO

En la Tabla AVI. 1 se presenta los datos obtenidos tras la simulación del proceso de fermentación del suero lácteo

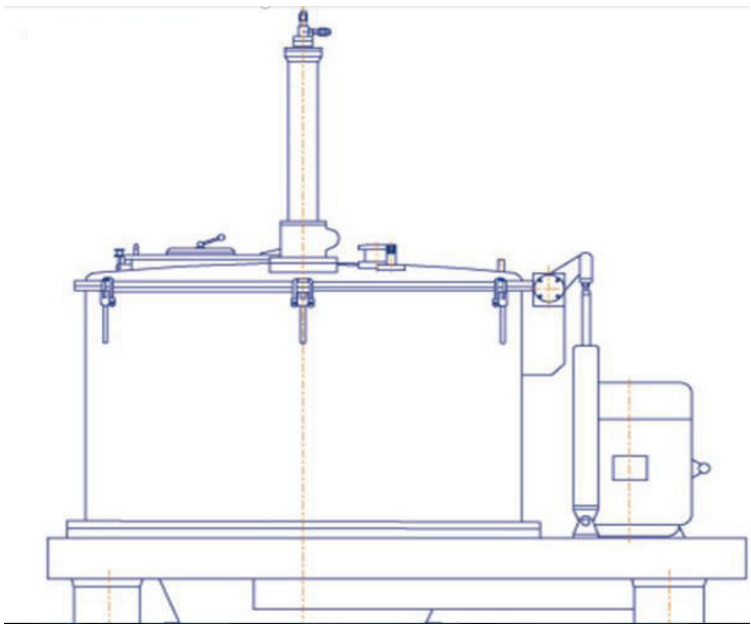
**Tabla AVI.1.** Simulación de la producción de ácido láctico y biomasa en el proceso de fermentación con el cultivo R-704


Tiempo (h)	Ácido láctico (g L <sup>-1</sup> )	Biomasa (g L <sup>-1</sup> )
1	4,0	1,57
2	11,23	2,26
3	14,49	3,95
4	17,54	5,40
5	20,39	7,01
6	23,06	8,75
7	25,54	10,60
8	27,87	12,55
9	30,04	14,58
10	32,07	16,67
11	33,97	18,81
12	35,74	21
13	37,39	23,23
14	38,95	25,47
15	40,39	27,72
16	41,74	30
17	43	32,25
18	44,19	34,51
19	45,29	36,75
20	46,32	38,98
21	47,28	41,18
22	48,18	43,35
23	49,02	45,51
24	49,80	47,63


## ANEXO VII

## HOJAS DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS N°1	
Nombre del equipo: Fermentador-Biorreactor	
Fabricante: Shangai Chunran Mechanical	N° requerido: 1 Material de construcción: Acero Inoxidable SS316L
<p>Parámetros de diseño:</p> <p>Largo: 0,75 m</p> <p>Ancho: 0,75 m</p> <p>Altura: 1,48 m</p> <p>Capacidad nominal: 15 000 L</p> <p>Voltaje y Energía: 380 V/ 0,75-28 kW</p> <p>Peso de balanza: 100/5 000 kg</p>	
Principio de funcionamiento: Tanque de fermentación con camisa de calefacción, capa de aislamiento para la preservación del calor y sistema de mezcla	
Modalidad de operación: Batch	
<p>Esquema del equipo</p> 	

HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS N°2	
Nombre del equipo: Filtro	
Fabricante: Shangai Chunran Mechanical	N° requerido: 2 Material de construcción: Acero Inoxidable 304
Parámetros de diseño: Largo: 2,00 m Ancho: 2,00 m Altura: 2,22 m Capacidad nominal: 350 L Voltaje y Energía: 380 V/ 22 kW Peso de balanza: 5 000 kg	
Principio de funcionamiento: Equipo que permite la eliminación de material sólido presente en una muestra líquida	
Modalidad de operación: Batch	
Esquema del equipo 	


<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS N°3</b>	
Nombre del equipo: Tanque de almacenamiento	
Fabricante: Zhengzhou Furui Mechanical Equipment	N° requerido: 1 Material de construcción: Acero Inoxidable
Parámetros de diseño: Largo: 0,9 m Ancho: 0,8 m Altura: 1,2 m Capacidad nominal: 400 L Voltaje y Energía: 380 V/ 55 kW Peso: 5 000 kg	
Principio de funcionamiento: Equipo que permite el almacenamiento y mezcla de muestras.	
Modalidad de operación: Batch	
Esquema del equipo 	

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS N°4</b>	
Nombre del equipo: Evaporador	
Fabricante: Gaojie	N° requerido: 1
	Material de construcción: Acero Inoxidable
Parámetros de diseño: Largo: 1,5 m Ancho: 1 m Altura: 3 m Capacidad nominal: 400 L Voltaje y Energía: 220 V/ 160 kW Peso: 1 000 kg	
Principio de funcionamiento: Mediante la aplicación de altas permite la eliminación del agua, principalmente, a través de la evaporación	
Modalidad de operación: Batch	
Esquema del equipo 	

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS N°5</b>	
Nombre del equipo: Bomba desplazamiento positivo	
Fabricante: KingGO	N° requerido: 2
	Material de construcción: Acero Inoxidable
Parámetros de diseño: Temperatura máxima: 120 °C Cabezal de descarga: 14-50 m Velocidad de flujo: 1,5-200 L/h3 m Velocidad máxima: 290 rpm Potencia: 0,55-45 kW Peso: 30 kg	
Principio de funcionamiento: Abastecimiento de líquido	
Modalidad de operación: Continuo	
Esquema del equipo 	



<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS N°6</b>	
Nombre del equipo: Pasteurizador LTLT	
Fabricante: Shangai Chunran Mechanical	N° requerido: 1
	Material de construcción: Acero Inoxidable SS316L
<p>Parámetros de diseño:</p> <p>Largo: 2,50 m</p> <p>Ancho: 0,75 m</p> <p>Altura: 2,00 m</p> <p>Capacidad nominal: 1 000 L</p> <p>Voltaje y Energía: 380 V/ 0,75-28 kW</p> <p>Peso de balanza: 3 000 kg</p>	
Principio de funcionamiento: Equipo que permite, mediante la aplicación estratégica de tiempo y temperaturas, la eliminación de microorganismos patógenos presentes en un medio líquido	
Modalidad de operación: Batch	
Esquema del equipo	
	

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS N°7</b>	
Nombre del equipo: Filtro de carbón activado	
Fabricante: YUNDA/OEM	N° requerido: 1
	Material de construcción: Carbón activado y acero inoxidable
Parámetros de diseño: Largo: 0,75 m Ancho: 0,75 m Altura: 1,82 m Tasa micras: 0,5; 1,5	
Principio de funcionamiento: Retiene impurezas	
Modalidad de operación: Batch	
Esquema del equipo	
	

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN DE EQUIPOS N°8</b>	
Nombre del equipo: Envasadora	
Fabricante: YUNDA/OEM	N° requerido: 1
	Material de construcción: Carbón activado y acero inoxidable
Parámetros de diseño: Largo: 3,75 m Ancho: 1,5 m Altura: 1,82 m Peso de balanza: 5 000 kg	
Principio de funcionamiento: Permite el llenado de envases con un volumen predeterminado	
Modalidad de operación: Continuo	
Esquema del equipo	
