



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química**

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO COMERCIAL, A NIVEL INDUSTRIAL EN GUATEMALA

Gustavo Virgilio Solá Villatoro

Asesorado por la Licda. Irma Nohemí Orozco Godínez

Guatemala, septiembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO
LÁCTICO COMERCIAL, A NIVEL INDUSTRIAL EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

GUSTAVO VIRGILIO SOLÁ VILLATORO

ASESORADO POR LA LICDA. IRMA NOHEMÍ OROZCO GODÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. José Manuel Tay Oroxom
EXAMINADOR	Inga. Hilda Palma de Martini
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO COMERCIAL, A NIVEL INDUSTRIAL EN GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 26 de enero de 2006.

Gustavo Virgilio Solá Villatoro

ACTO QUE DEDICO A:

- MI PADRE CELESTIAL** Por darme la vida, tomarme como su hijo y darme sabiduría e inteligencia para alcanzar mis metas, a Él sea la gloria.
- EL SEÑOR JESUCRISTO** Por haberme redimido, sostenerme en momentos de flaqueza, vivificarme con su amor.
- MIS PADRES** Gustavo Adolfo Solá Higueros (Q.E.P.D.) en su memoria.
Blanca Elena Villatoro de López, por darme la oportunidad de realizarme esforzándose por darme lo mejor y apoyándome siempre.
Leonel Felipe López Cifuentes, por el apoyo brindado.
- MIS HERMANOS** Elena del Rocio y Gerson Daniel, por su apoyo y cariño, por compartir conmigo momentos maravilloso imposibles de olvidar.
- MIS TÍOS** Arnoldo, Alicia, Mariela, Marta, Magda y Edna, por su cariño, apoyo y comprensión.
- MIS PRIMOS** Mariela, Cecilia, Antonio, José, Beatriz, Karina, Lilly, David y Geovani, por compartir muy buenos momentos.

MIS AMIGOS

Abel, Alfredo, Alma, Carlos, Carol, Cristy Sarti, Diana, Elías, Henry, Jorge, Leonel, Luis Alberto, Manolo, Maria Reneé, Michelle, Nelson, Sergio y Vinicio, quienes estuvieron conmigo cuando más lo necesite, siendo para mí como hermanos. Que Dios los bendiga siempre.

MIS COMPAÑEROS

Alberto, Alejandra, Carlos, Cristy, Daniel, David, Jorge, Lucy, Pablo y William, de quienes aprendí mucho y con quienes el trabajo se hizo más fácil.

MIS CATEDRÁTICOS

Ingeniero Otto Raúl De León De Paz y al Ingeniero César García, por su apoyo, amistad y aprecio.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Por permitirme formarme dentro de sus aulas, y aprender conocimientos útiles y necesarios para desempeñarme como profesional de la Ingeniería.

AGRADECIMIENTOS A

La Licenciada Irma Nohemí Orozco Godínez, por haberme asesorado desinteresada y profesionalmente durante la realización de este trabajo de graduación.

La Ingeniera Hilda Palma de Martini, por su revisión y apoyo en la realización de este trabajo.

Las industrias lácteas que colaboraron con la realización de este trabajo, proporcionándome muestras de suero de leche, entre las cuales puedo mencionar Chivolac, La Cuna del Queso, Lácteos de Lujo e Inlacsá.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
HIPÓTESIS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1. USOS E IMPORTANCIA DEL ÁCIDO LÁCTICO Y LACTATOS

1.1	Generalidades	1
1.2	Propiedades Físicas y Químicas	1
1.3	Fabricación	3
1.4	Clases o tipos comerciales	4
1.5	Empleos del ácido láctico	5
1.6	Empleo de lactatos	5

2. METODOLOGÍA

2.1	Localización	7
2.2	Recursos	7
2.3	Metodología Experimental	12
2.4	Manejo Experimental	12
2.5	Diseño Experimental	20

2.6	Análisis Estadístico	20
3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO		
3.1	Condiciones óptimas	23
3.2	Fabricación por fermentación continua	26
3.3	Proceso de fermentación	27
3.4	Filtración del caldo fermentado	29
3.5	Evaporación, cristalización y lavado	30
3.6	Clases comerciales de ácido láctico	31
3.6.1	Ácido láctico comercial	31
3.6.2	Ácido láctico para usos comestibles	32
3.6.3	Ácido láctico transparente	32
RESULTADOS		35
DISCUSIÓN DE RESULTADOS		39
CONCLUSIONES		43
RECOMENDACIONES		45
REFERENCIAS		47
BIBLIOGRAFÍA		49
APÉNDICES		51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Equipo 1	8
2.	Equipo 2	8
3.	Equipo 3	9
4.	Equipo 4	9
5.	Cristalería	10
6.	Reactivos	11
7.	Reacción de oxidación de la lactosa y reducción del cobre	17
8.	Reacción de neutralización del ácido láctico	25
9.	Contenido Promedio de Lactosa en La Cuna del Queso	37
10.	Contenido Promedio de Lactosa en Lácteos de Lujo	37
11.	Contenido Promedio de Lactosa en Chivolac	38
12.	Contenido Promedio de Lactosa en Inlacs	38
13.	Contenido Promedio de Lactosa en todas las industrias	39
14.	Muestra de suero de leche	55
15.	Primer filtrado de la muestra	55
16.	Primer filtrado siendo evaporado	56
17.	Primer filtrado mezclado con alcohol al 95%	56
18.	Segundo filtrado	56
19.	Líquido claro listo para cristalizar	57
20.	Cristales de lactosa en solución	57
21.	Recuperación de lactosa por medio de filtrado	57

22.	Secado de muestra recuperada	58
23.	Vista de muestra seca y recuperada	58
24.	Toma de puntos de fusión (avance)	58

TABLAS

I.	Datos requeridos para un experimento, con a tratamientos y n repeticiones	21
II.	Análisis de varianza	22
III.	Aislamiento y cuantificación de lactosa en sueros	36
IV.	Cantidad de ácido láctico que se puede producir	36
V.	Datos calculados para contenido de lactosa	51
VI.	Datos calculados para cantidad de ácido láctico a producir en las cuatro industrias lácteas que proporcionaron muestras	51
VII.	Datos extrapolados para cantidad de ácido láctico a producir en el país	52
VIII.	Tratamientos para el análisis de varianza	53
IX.	Análisis de varianza para contenido promedio de lactosa	53
X.	Datos originales para contenido de lactosa	54
XI.	Datos originales para caracterización de la lactosa	54
XII.	Costo de las actividades realizadas durante el estudio	59

LISTA DE SÍMBOLOS

a	Número de tratamientos
g	Gramos
Ho	Hipótesis nula
Ha	Hipótesis alternativa
i	Subíndice para tratamientos
MSSA	Media cuadrática por tratamientos
MSSE	Media cuadrática por error
n_i	Número de observaciones del tratamiento i
P.F.	Peso final, el papel filtro más muestra seca
P.I.	Peso inicial, sólo el papel filtro
P.L	Peso de lactosa obtenido para la muestra
P.M.	Peso anhidro de la muestra tarada
SSB	Suma de cuadrados para bloques
SSE	Suma de cuadrados por error
SSA	Suma de cuadrados para tratamientos
SST	Suma de cuadrados total
y_i	Total de las observaciones bajo i -ésimo tratamiento

\bar{y}_i	Promedio de las observaciones bajo i-ésimo tratamiento
Y	Sumatoria de todas las observaciones
\bar{y}	Media general de las observaciones
$y_{.j}$	Total de todas las observaciones en el bloque j
$y_{..}$	Gran total de todas las observaciones
$(1-\alpha)$	Nivel de confianza
%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
μ	Media
Σ	Sumatoria

GLOSARIO

Ácido láctico	Producto del metabolismo de la glucosa en el metabolismo anaeróbico. Ácido orgánico de tres átomos de carbono, que se forma por fermentación de la lactosa. Producto orgánico que ocurre naturalmente en el cuerpo de cada persona.
Análisis gravimétrico	Análisis cuantitativo de una sustancia por medio de la pesada.
Azúcar reductor	Se les llama así a los azúcares capaces de reducir el ion Cobre (Cu^{++}) a óxido cuproso, o el ion plata (Ag^+) a plata metálica, debido a su potencial reductor.
Carbohidratos	Compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno.
Carbohidratos complejos	También se componen de azúcares, pero sus moléculas forman cadenas más largas y complejas. Entre los carbohidratos complejos están la fibra y los almidones.
Carbohidratos simples	Algunas veces conocidos como azúcares, están la fructosa, la sacarosa, la lactosa y otras azúcares.

Caseína	La caseína en la leche es una mezcla de fosfoproteínas similares (α , β , y κ caseínas), que difieren en el peso molecular y en la cantidad de grupos fosfato presentes.
Celulosa	Cuerpo sólido insoluble en el agua, al alcohol y el éter, perteneciente al grupo químico de los hidratos de carbono, que forma casi totalmente la membrana envolvente de las células vegetales. Es un tipo de fibra insoluble.
Demanda	Cantidad máxima de un bien o servicio, que un individuo o grupo de ellos está dispuesto a adquirir a un determinado precio, por unidad de tiempo. Refleja la voluntad y capacidad económica de adquirir un determinado, bien por parte de todas las personas que manifiestan una necesidad capaz de ser satisfecha por el consumo del referido bien.
Enzimas	Moléculas diminutas que desencadenan determinadas reacciones. Ayudan a procesar los alimentos entre otras cosas. Nosotros hacemos nuestras propias enzimas y otras ya vienen en los alimentos. Las enzimas promueven la reacción de nuestro cuerpo.
Fermentación	Cambios químicos en las sustancias orgánicas, producidos por la acción de las enzimas. Esta definición general incluye prácticamente todas las reacciones químicas de importancia fisiológica. Actualmente, los científicos suelen reservar dicha denominación para la acción de ciertas enzimas específicas, llamadas fermentos, producidas por organismos diminutos tales como el moho, las bacterias y la

levadura. Por ejemplo, la lactasa, un fermento producido por una bacteria que se encuentra generalmente en la leche, hace que ésta se agrie, transformando la lactosa (azúcar de la leche) en ácido láctico.

Glucosa Monosacárido que se encuentra en ciertos frutos y en la sangre. Normalmente, la orina contiene indicios de ella; más abundante en los diabéticos.

Hidrosoluble Sustancia soluble en agua.

Insoluble Que no puede ser disuelto en un líquido.

Lactalbúmina Proteína globular (tiende a formar unidades esferoidales) que son desnaturalizadas y coaguladas por calentamiento. Ver Proteínas.

Lactato de calcio Sal de calcio del ácido láctico, con fórmula molecular $(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2\text{Ca}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$, de peso molecular 308.3. Cristaliza como pentahidrato, que es ligeramente eflorescente y pierde agua de hidratación a 100-120°C. Se usa mucho en la terapia a base de calcio.

Lactobacillus

Bulgaricus Es un bacilo delgado, grampositivo, no movible, que no forma esporas, habitante natural de la leche. Fermenta bien la lactosa, entre otros azúcares, con producción de ácido láctico. La temperatura óptima para el crecimiento y la fermentación es 45-50°C. Se emplea para hacer productos

de leche agria y en la fabricación de ácido láctico partiendo del suero de la leche.

Lactosa	Azúcar de fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$, presente en la leche de los mamíferos. Se obtiene de la leche en forma de cristales arenosos duros, de composición $C_{12}H_{22}O_{11} \cdot H_2O$, mediante la evaporación del suero residual una vez extraída la grasa, y por la precipitación de la caseína. Los cristales pierden agua al calentarse a $140^{\circ}C$, y se funden y descomponen a $202^{\circ}C$. Es el único carbohidrato presente en la leche. En la hidrólisis, la lactosa produce glucosa y galactosa. En presencia de las enzimas apropiadas fermenta a ácido láctico y a ácido butírico.
Sacarosa	Azúcar ordinaria.
Suero de leche	Parte que permanece líquida después de la coagulación de la leche, desecho de la producción de los diferentes tipos de queso.
Proteínas	Cualquiera de los numerosos compuestos orgánicos constituidos por aminoácidos unidos por enlaces peptídicos que intervienen en diversas funciones vitales esenciales, como el metabolismo, la contracción muscular o la respuesta inmunológica. Contiene generalmente carbono, hidrógeno, oxígeno, y nitrógeno con algo de azufre. Los tipos de proteínas presentes en la leche son caseína y albúmina (lactoalbúmina y lactoglobulinas).

RESUMEN

En la investigación se determinó el contenido de lactosa presente en diferentes muestras de suero de leche, a fin de determinar la factibilidad de la utilización del suero procedente de la producción de quesos para la producción de ácido láctico por fermentación.

Las muestras se obtuvieron a través de la colaboración de algunas industrias lácteas que proporcionaron suero de diferentes tipos de quesos producidos en las mismas.

El muestreo se realizó al azar, analizando todas las muestras que se obtuvieron.

Las muestras se analizaron lo más pronto posible, a fin de evitar el deterioro del suero por desnaturalización o fermentación de los componentes. Las muestras que no se pudieron analizar el día que se recolectaron, se congelaron previo su análisis.

Posteriormente, se aisló la lactosa presente en las diferentes muestras de suero, utilizando la metodología de aislamiento de la lactosa, y finalmente se caracterizó la lactosa obtenida por medio de la determinación del punto de fusión de la muestra resultante, y de la prueba de azúcares reductores con los reactivos de Fehling y Benedict, confirmando así que la muestra recuperada era lactosa.

Los valores obtenidos de lactosa presente en el suero están en el rango entre 1.2% y 1.9%, con un promedio general de 1.6%.

OBJETIVOS

General

Plantear un estudio de factibilidad para la producción de ácido láctico comercial a nivel industrial en Guatemala.

Específicos

1. Definir los usos e importancia del ácido láctico como producto industrial.
2. Determinar la cantidad de lactosa promedio presente en el suero de leche producido en Guatemala.
3. Determinar la disponibilidad de suero de leche en la industria láctea guatemalteca.

HIPÓTESIS

El porcentaje de lactosa presente en los sueros de leche producidos en la industria láctea guatemalteca, es suficiente para la producción de ácido láctico comercial a nivel industrial en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo principal determinar la factibilidad de la producción de ácido láctico, por fermentación del suero procedente de la fabricación de quesos de las industrias lácteas guatemaltecas, por medio de la determinación del contenido de lactosa presente en los mismos, como materia prima de fermentación.

A partir de la fermentación aeróbica de lactosa con *Lactobacillus bulgaricus*, se produce lactato de calcio que se transforma en ácido láctico por medio del cambio de pH del medio.

En la actualidad, en Guatemala, el suero producido de la fabricación de quesos se desperdicia en un gran porcentaje. Al utilizar este suero, para la producción de ácido láctico, se podría suplir la demanda interna del país de ácido láctico comercial, provocando el aumento del Producto Interno Bruto de Guatemala, debido a que actualmente se importa gran cantidad de ácido láctico, sus sales y sus ésteres. Debido a que esta propuesta promueve el aumento de la explotación de recursos en Guatemala.

En muchos países desarrollados, el suero de leche es utilizado ampliamente en diversos productos de alto valor agregado. En Guatemala, a lo más se utiliza como alimento para ganado porcino, a una rentabilidad no favorable para la industria láctea.

Por medio de la información que se generó a través de este documento, conjuntamente con los otros componentes, físico, mecánico y económico, se puede realizar una posterior evaluación del proceso industrial de la producción de ácido láctico, a partir del suero, y se podría de esta manera ampliar la cobertura de utilización.

Con la realización de este estudio, la industria láctea guatemalteca será beneficiada con una mejor alternativa para aumentar la productividad, elevando el rendimiento de los productos y reduciendo los desechos, debido a que tendrán la opción de producir el ácido láctico o de vender el suero a otra industria que se encargue de producirlo, disminuyendo a la vez la contaminación ambiental.

La realización de este análisis originará una oportunidad de desarrollo para el país, ya que se evaluará la factibilidad de fabricar un producto que tiene una gran diversidad de utilidades. Si Guatemala fabrica ácido láctico, supliendo la demanda interna, más adelante podría incluso exportarlo hacia otros países, provocando así un aumento en las entradas monetarias al país.

El consumo de ácido láctico que actualmente hay en Guatemala, es notable, siendo el costo de éste elevado, debido que es importado de otros países; con la implementación de este proyecto el precio del ácido láctico podría bajar notablemente, debido a la reducción del pago de aranceles de importación.

1. USOS E IMPORTANCIA DEL ÁCIDO LÁCTICO

1.1 Generalidades

El ácido láctico se prepara normalmente por fermentación bacteriana de lactosa, almidón, azúcar de caña o suero de la leche en la forma DL o racémica. Pequeñas cantidades de ácido L-láctico están presentes en la sangre y en otros fluidos y órganos del cuerpo; este ácido se forma en los tejidos, sobre todo los musculares, que obtienen energía metabolizando azúcar en ausencia de oxígeno. La acumulación de grandes cantidades de este ácido en los músculos produce fatiga y puede causar calambres. El ácido láctico que se forma en la leche por la fermentación de la lactosa es el que hace que aquella se agrie. El ácido láctico se utiliza para elaborar queso, yogurt, col fermentada, bebidas y otros productos.

Para la producción de ácido láctico a partir de suero de leche, se emplea generalmente el organismo *L. bulgaricus* el cual es incubado a 45 a 50 grados Celsius. La concentración de azúcar de los mostos se ajusta normalmente del 5 al 20%, según la naturaleza de la materia prima y las condiciones del proceso.

1.2 Propiedades físicas

Ácido Láctico

Ácido láctico (ácido α -hidroxipropiónico), compuesto líquido transparente, incoloro o débilmente amarillo, casi inodoro, giroscópico y de consistencia siruposa, de fórmula $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$. Se da bajo dos formas ópticamente

activas, dextrógira y levógira, frecuentemente denominadas ácido D-láctico y ácido L-láctico. En su estado natural es una mezcla ópticamente inactiva compuesta por partes iguales de ambas formas D- y L-, conocida como mezcla 'racémica'.

Propiedades Físicas^[1]:

Densidad específica (20°C)	1.21 g/cm ³
Peso específico (20°C/ 4°C)	1,206 a 1,216
Peso específico (15°C/ 15°C)	1,210 a 1,220
Solubilidad	En el agua, alcohol y éter en todas proporciones
pH (10 g/l, H ₂ O, 20°C)	~2.8
Punto de fusión	18°C
Riqueza aproximada	74% de ácido libre, 90° de acidez total
Otros	-Irritante -Al calentarlo pierde agua y se transforma en anhídrido

Toxicidades y Primeros Auxilios:

Líquido que sin ser corrosivo puede producir inflamaciones en caso de contacto breve o repetido, pudiendo causar irritación de la piel y los ojos por contacto. Por lo cual se recomienda evitar contacto con ojos y piel, y no inhalar vapores.

¹ Referencia No. 1

1.3 Fabricación

Whittier y Rogers describen la producción de ácido láctico con un cultivo de un lactobacilo y un micoderma. Burton describe la producción comercial del ácido láctico y lactatos partiendo del suero y hace una referencia especial al lactato de calcio. Primero se neutraliza el suero con óxido de calcio o carbonato de calcio hasta que su pH es 6.5 a 7.5. El suero neutralizado o leche descremada se siembra con un microorganismo productor de ácido láctico (*Lactobacillus bulgaricus* más un micoderma o *Lactobacillus delbrueckii*, los dos son homofermentativos). Después se calienta el suero hasta aproximadamente 43°C para facilitar la fermentación de la lactosa; de cuando en cuando se añaden cantidades adicionales de carbonato cálcico u óxido cálcico para mantener el pH entre 5.5 y 7.0. La temperatura y el pH se mantienen en sus valores óptimos para que la fermentación de lactosa se produzca con la mayor rapidez posible; por lo general, en 42-48 horas ha fermentado toda la lactosa.^[2]

Al terminar la fermentación se neutraliza el líquido con cal y luego se calienta hasta aproximadamente 96°C para coagular las proteínas del suero y permitir su separación por sedimentación. El líquido claro se separa y se lleva a un tanque y *los sedimentos se pasan por un filtro prensa*. El precipitado se seca para utilizarlo como pienso (alimento para ganado) y el filtrado se agrega al líquido claro del tanque de almacenamiento. Después *se trata el líquido claro con carbón descolorante, se filtra y se concentra en un evaporador de vacío hasta 15 ° Bé*. La solución concentrada de lactato de calcio se pone entonces en *tanques de cristalización provistos de camisa para circulación de agua fría*. El lactato de calcio cristaliza en 10-12 horas. Se separan del líquido los cristales *por centrifugación*, se lavan, se concentra el agua de lavado y se obtiene más lactato de calcio, que se añade al lote principal. Los cristales se disuelven ahora

² Referencia No. 2

a 66°C y se añade carbón descolorante y ayuda de filtro. Se filtra la solución, se concentra, se enfría, se deja que se produzca la cristalización y se separan los cristales. Repitiendo estos pasos se obtiene lactato de calcio de diversos grados de pureza, entre ellos la calidad U.S.P. El lactato de calcio obtenido por este procedimiento tiene la fórmula $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{CHOHCOO})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Un suero de caseína que contenga 4.6% de lactosa debe dar teóricamente 7.8 Kg de lactato de calcio por 100 Kg de suero. En la práctica, se obtienen aproximadamente 5.5 Kg de lactato impuro por cada 100 Kg de suero.

1.4 Clases o tipos comerciales de ácido láctico

1. Ácido láctico crudo, técnico o comercial (concentraciones de 22, 44 y 50 %)
2. Ácido láctico para usos alimenticios (concentraciones de 44 y 50 %)
3. Ácido láctico transparente o para plásticos (concentraciones de 65 y 85%)
4. Ácido láctico grado U.S.P. (concentración de 90%)

El grado técnico o bruto se utiliza para desencalar las pieles durante el curtido. Los grados comestibles se emplean principalmente como acidulantes de alimentos y bebidas. La cantidad restante se convierte en plásticos, disolventes y algunos productos químicos. El grado USP es un producto farmacéutico antiguo y bien establecido^[3].

Las normas que han de cumplir estas calidades suelen estar, determinadas por los consumidores en relación con sus necesidades. Estas normas especifican el color, sabor y aroma, además del contenido de cenizas. Por ejemplo, el ácido láctico empleado en, la fabricación de resinas fenólicas transparentes ha de ser de una gran pureza y especialmente tendrá un contenido muy bajo en cloruros, sulfatos, y cenizas.

³ Referencia No. 3

1.5 Empleos del ácido láctico:

Los usos del ácido láctico son numerosos, tanto en la alimentación como en las fermentaciones, fabricación de productos farmacéuticos y dentro de la industria química. Como acidificante se emplea la calidad comestible de ácido láctico en confitería y fabricación de extractos, esencias y zumos de frutas, limonadas, variantes, jarabes y otros productos. También puede emplearse en el curado de la carne y en la conservas de pescado y vegetales.

En las coles ácidas y variantes actúa como preservativo de la putrefacción. Se emplea también para acidular los extractos de malta en la manufactura de cerveza, para ajustar la acidez de la salmuera en la preparación de aceitunas, para impedir el desarrollo de las bacterias de ácido butírico en la fabricación de levadura y en la fabricación de bebidas efervescentes.

Dentro de la industria química se emplea en el teñido de seda y otros textiles, como mordiente en el estampado de la lana, en la preparación de cueros, en el decalado de pieles, en el curtido vegetal y como fundente en las pastas de soldar. La calidad transparente se emplea en la industria de plásticos. También los lactatos tienen empleos importantes.

1.6 Empleo de lactatos

El lactato cálcico se emplea en los polvos de repostería, en la panificación y en productos farmacéuticos. Así también como transportador de calcio en los alimentos, en los casos de deficiencia de calcio. Se usa mucho en la terapia a base de calcio; se ha empleado como coagulante de la sangre en el

tratamiento de las hemorragias. Las soluciones de azúcar pueden convertirse en jaleas por adición de lactato de calcio. Esta sal se ha descrito como un agente conveniente para dar consistencia a las manzanas.

El lactato de sodio, es un jarabe higroscópico no cristizable que contiene 50% de la sal. Se utiliza como plastificante y humedecedor en la fabricación de papeles y textiles, como lubricante en los géneros de lana, como reactivo en los baños de galvanoplastia y para ayudar a retener la humedad en algunos productos, como el tabaco. En tintorería se emplea en sustitución del crémor. Las sales alcalinas neutras en solución concentrada son sucedáneos baratos de la glicerina, cada vez más corrientes. Estas sales deben ser exactamente neutras y estar exentas de cal, metales pesados, ácido sulfúrico y cloruros.

El lactato de cobre es un agente muy importante en un proceso de electrodeposición de metales, o baños de galvanoplastia. El lactato de aluminio se usa como antisudorífico. El lactato de antimonio, se usa en la tintura de textiles con mordiente. El lactato de hierro se emplea en forma industrial para curtir, y como sal pura tiene extensa aplicación en farmacia, utilizándose como fuente de hierro en los productos alimenticios, en casos de anemia.

Los éteres del ácido láctico, compuestos insolubles en agua de fórmula general $\text{CH}_3\text{CHOR} \cdot \text{COOH}$ se emplean como disolventes, plastificantes y modificantes en la fabricación de tintas, plásticos y esmaltes. Y los ésteres de fórmula general $\text{CH}_3\text{CHOH} \cdot \text{COOR}$ tienen muchas de las aplicaciones de los éteres. Los ésteres superiores, por ejemplo los butílico, amílico y láurico, tienen mayor estabilidad que los inferiores y son insolubles en agua, por lo que su empleo es preferido.

2. METODOLOGÍA

2.1 Localización

La recolección de muestras se llevó a cabo en cuatro industrias lácteas que colaboraron proporcionando muestras para el estudio, siendo estas: La Cuna del Queso, Chivolac, Lácteos de Lujo e Inlacs.

2.2 Recursos

2.2.1 Humanos

Investigador: Gustavo Virgilio Solá Villatoro.

Asesor: Licda. Irma Nohemí Orozco Godínez.

2.2.2 Físicos

2.2.2.1 Equipo

- Planchas de calentamiento con agitación magnética (marca Boeco, modelo MSH300, 110/120V, rango 0-480°C, 0-1000 RPM)
- Termómetro (mercurio, con escala de 0-200°C, del tipo inmersión total)
- Balanza digital (marca Adventure OHAUS, precisión de 0.1g, percibe hasta 300g.)
- Horno eléctrico con recirculación (marca Cole Parmer, modelo

05015-54, 128 V, 800W, 1 Phase 50/60 Hz)

- Bomba de vacío
- Campana de extracción de gases
- Equipo para puntos de fusión Thomas Hoover Cat. No. IA6304, No. Inventario 6C-1198-70

Figura 1. Equipo 1. Planchas de calentamiento y agitación



Figura 2. Equipo 2. Balanza digital

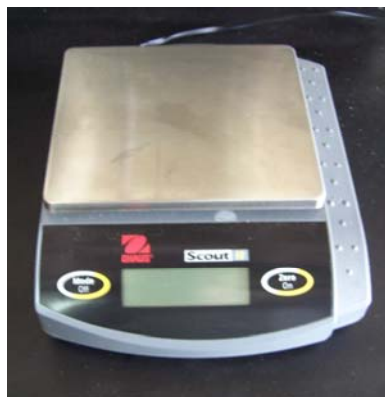


Figura 3. Equipo 3. Horno eléctrico con recirculación



Figura 4. Equipo 4. Equipo para tomar puntos de fusión



2.2.2.2 Cristalería

- Beakers, con capacidad de 50, 250 y 1000 mL.
- Kitazato, con capacidad de 500 mL.
- Embudo Büchner de cerámica.
- Probetas, con 10 y 100 mL.
- Pipeta de transferencia, de 2mL.
- Vidrio reloj.
- Manguera.
- Espátula.

Figura 5. Cristalería. Beakers, vidrio reloj, varilla de agitación, probeta, kitazato, manguera, embudo büchner y pipeta de transferencia.



2.2.2.3 Reactivos

- Agua Desmineralizada Salvavidas.
- Alcohol etílico (95%), etanol absoluto, 100983 Merck KGaA.
- Carbonato de Calcio, Calcio precipitado para análisis, 102066 Merck KGaA.
- Carbón Activado.

Figura 6. Reactivos. Etanol al 95%, Carbonato de Calcio (CaCO_3), Carbón Activado



2.3 Metodología experimental

2.3.1 Obtención y preparación de las muestras

Las muestras se obtuvieron a través de la colaboración de algunas industrias lácteas que proporcionaron suero de diferentes tipos de quesos producidos en las mismas.

El muestreo de las industrias se realizó al azar, se hicieron tres repeticiones por industria.

Las muestras se analizaron lo más pronto posible, a fin de evitar el deterioro del suero por desnaturalización o fermentación de los componentes. Las muestras que no se pudieron analizar el día que se recolectaron, se congelaron previo su análisis.

2.4 Manejo experimental

2.4.1 Análisis químico del suero de leche

El análisis químico se realizó en base al método de aislamiento y caracterización de la lactosa, aislando y cuantificando la lactosa presente en la muestra del suero de leche analizado, el método utilizado se menciona a continuación:

2.4.1.1 Aislamiento de lactosa

ALCANCE

Este método abarca la precipitación y desnaturalización de las proteínas por varios métodos, así como la cristalización de lactosa presente en la solución, para luego aislarla, caracterizarla y cuantificarla.

PRINCIPIO DEL MÉTODO

Debido a que el contenido del suero de leche es caseína, o sea una mezcla de fosfoproteínas similares (α , β , y κ caseínas), que difieren en el peso molecular y en la cantidad de grupos fosfato presentes. En la cual los grupos fosfato están unidos a cadenas de aminoácidos en los extremos de serina y treonina.

Existiendo la caseína α y la β existen en la leche como sales de calcio (caseinato de calcio). Estas sales tienen una estructura compleja y se encuentran en forma de micela (1200 Å de diámetro) o unidad solubilizada. El caseinato de calcio tiene un punto isoeléctrico de pH 4.6 y es insoluble a valores de pH inferiores.

El pH de la leche es 6.6, si se agrega ácido a la leche, los grupos fosfato en el caseinato de calcio se protonan y la proteína precipita.

La caseína κ tiene pocos grupos fosfato, tiene grupos más polares y forma soluciones coloidales con agua, porque es más soluble. Sin embargo, precipita fácilmente con cambio de solvente en la solución.

Las proteínas y albúminas que están en solución precipitan por medio de carbonato de calcio agregado a la solución, pues el ión calcio las atrapa en solución, y como es insoluble en agua precipita, atrapando los iones en solución.

APARATOS

Plancha de calentamiento y agitación. Balanza analítica, sensible a 0.1 g.
Horno para secar, con temperatura controlada entre 100 y 105 °C.

REACTIVOS

- Carbonato de calcio, grado reactivo.
- Alcohol etílico (95%), etanol absoluto, 100983 Merck KGaA.

MUESTRA

La muestra consistirá en el suero de leche recuperado directamente de la producción de queso.

PROCEDIMIENTO

- Se colocan 125 ml de suero de leche, en un vaso de precipitado o beacker de 250 ml y se calienta hasta llegar a una temperatura de 40° C. No se debe exceder esa temperatura.
- Se agrega de inmediato 2.5 g de carbonato de calcio finamente dividido al vaso de precipitado que contiene el suero, se agita por 10 minutos y luego se lleva a ebullición.
- Se debe mantener el calentamiento por 10 minutos, agitando ocasionalmente para evitar proyecciones (el carbonato tiende a acumularse en el fondo del vaso de precipitado). Mientras tanto, se puede preparar el equipo para filtración a presión reducida.

- Se filtra la solución, varias veces si es necesario (pero cambiando el papel filtro cada vez), hasta obtener un filtrado claro. Se debe mantener caliente la solución durante la filtración (no es necesario que hierva). El precipitado se descarta.
- Se concentra el filtrado hasta reducirlo a un volumen de 15 ml aproximadamente. Se deben evitar proyecciones añadiendo perlas de ebullición o agitando continuamente.
- Cuando la solución llegue a 80° C (medir la temperatura), añada 90 ml de etanol de 95° GL. Se agrega una pizca de carbón activado, se calienta suavemente y se filtra a presión reducida.
- Se guarda el precipitado en un frasco con tapadera. Se debe tapar bien el frasco y guardarlo en el refrigerador.
- Una semana después, se filtra a presión reducida la solución, usando un papel filtro previamente tarado. Los cristales de lactosa aparecerán a los lados y al fondo del recipiente, como agregados esféricos, que se deben raspar para ser desprendidos.
- Se lavan los cristales con pequeñas porciones de alcohol 25° GL frío. Se secan en el horno eléctrico con recirculación. Se guardan en la desecadora, si es necesario.
- Posteriormente se pesan los cristales obtenidos. Respecto a la densidad medida del suero, se calcula el porcentaje en peso de la lactosa obtenida.

$$\%Lactosa = 100 * \frac{\text{Peso g. Lactosa}}{\text{Peso g. de Muestra}}$$

2.4.1.2 Caracterización de la lactosa

ALCANCE

La caracterización de la lactosa abarca la toma de puntos de descomposición y la prueba de azúcares reductores que consiste en la oxidación del azúcar por medio de los reactivos de Benedict y Fehling.

PRINCIPIO DEL MÉTODO

➤ Puntos de Descomposición

Muchos compuestos orgánicos, tales como los aminoácidos, las sales de ácidos o de aminas y los carbohidratos, no poseen puntos de fusión, debido a que funden con descomposición dentro de un intervalo de temperatura considerable, por lo que se ha definido el punto de descomposición como el punto en el cual el carbohidrato se empieza a reblandecer, donde se manifiesta un oscurecimiento de los cristales, para luego fundir, dejando al final un residuo de carbono.

➤ Azúcares Reductores

La reacción de oxidación en los carbohidratos es satisfactoria sólo si el carbohidrato se encuentra en la forma de su hemiacetal o hemicetal, el cual

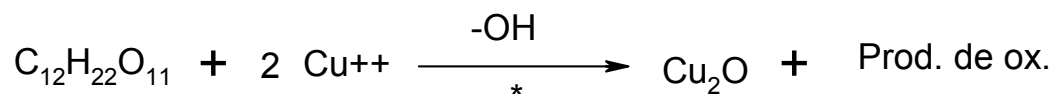
proviene de la unión de un oxígeno de –OH en la estructura del carbohidrato al carbonilo del aldehído o de la cetona, respectivamente. Si el azúcar se encuentra en la forma de acetal o cetal, la reacción no ocurre debido a la inherente estabilidad y no reactividad de los acetales y cetales. Los azúcares que dan una prueba positiva con el reactivo de Fehling o de Benedict se denominan azúcares reductores.

Los azúcares reductoras o aldosas, donde el sufijo –osa designa a un carbohidrato y el prefijo –aldo identifica la naturaleza del grupo carbonilo, reaccionan con el reactivo de Fehling (Cu^{2+} en tartrato de sodio acuoso) o con el reactivo de Benedict (Cu^{2+} en citrato de sodio acuoso) y producen el azúcar oxidado o varios productos de oxidación y el ión metálico reducido, habiendo reducido el cobre en estado cúprico a óxido cuproso, siendo la señal de un resultado positivo la formación del óxido cuproso que se manifiesta como un precipitado de color rojizo.

En las soluciones de Fehling y Benedict, la función del citrato de sodio y del tartrato de sodio es amortiguar la solución formando un ion complejo con el cobre (Cu^{++}).

La solución de Benedict, que contiene el cobre unido al anión complejo, funciona como un oxidante selectivo. El reactivo de Benedict demuestra la presencia hasta de 0.01% de glucosa en agua.

Figura 7. Reacción de oxidación de la lactosa y reducción del cobre.



* Benedict= citrato, Fehling = tartrato

APARATOS

Tubos capilares. Aparato Thomas Hoover para determinar puntos de fusión. Termómetro.

Estufa de calentamiento con agitación magnética. Tubos de ensayo. Beacker de 250 ml.

REACTIVOS

- Reactivo de Fehling (Cu^{2+} en tartrato de sodio acuoso).
- Reactivo de Benedict (Cu^{2+} en citrato de sodio acuoso).
- Solución de azul de metileno (solución acuosa de 1%).

MUESTRA

Para la toma de puntos de descomposición y fusión la muestra consiste en los cristales de lactosa aislados y recuperados.

Para las pruebas de azúcar reductor la muestra consiste en una solución de la lactosa recuperada disuelta en agua.

PROCEDIMIENTO

➤ Puntos de Descomposición

- Se disminuye el tamaño de los cristales de lactosa a fin de aumentar la superficie de calentamiento y el contacto interfacial de los mismos, para luego

introducirlas en tubos capilares, llenando aproximadamente una altura de 2.5 mm dentro del tubo capilar.

- Se introducen los tubos capilares en el aparato Thomas Hoover para toma de puntos de fusión, y se observa el comportamiento de los cristales durante el calentamiento.
- Se anotan todos los cambios observados, como cambios de color, puntos de descomposición, y el punto de fusión del carbohidrato.

➤ **Azúcares Reductores**

- Primeramente se preparan las soluciones de Fehling y de Benedict.
- La solución de Fehling se prepara mezclando dos soluciones por partes iguales inmediatamente antes de usarlas. A continuación se presenta la preparación de estas dos soluciones.

Solución de sulfato de cobre: Disolver 34.639 g de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en agua, y diluir a 500 ml.

Solución alcalina de tartrato: Disolver 173 g de sal de Rochele (tartrato de sodio y potasio) y 50 g de hidróxido de sodio en agua; diluir a 500 ml y dejar reposar durante dos días, luego de lo cual se filtra para eliminar cualquier precipitado presente.

- La solución de Benedict se prepara con 17.3 g de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 173 g de citrato sódico o potásico y 100 g de carbonato sódico anhidro, todo disuelto en agua y diluido hasta hacer un litro.
- Se prepara una solución de lactosa disuelta en agua.
- En un tubo de ensayo se mezcla aproximadamente 2 ml de la solución de lactosa, con 2 ml de la solución de Fehling o Benedict, según el caso.
- El tubo de ensayo se calienta en baño maría hasta que empieza a hervir, se mantiene a ebullición por 2 min y luego, sin retirar la flama, se añaden unas

gotas de la solución de azul de metileno, y se deja hervir por 3 min sin interrupción.

- La completa decoloración del azul de metileno indica que hay azúcar reductor en exceso, mostrando la reducción del cobre, el cual precipita como óxido cuproso, de color rojo o naranja brillante.
- La prueba es positiva si aparece el precipitado de óxido cuproso, probando así el carácter reductor del azúcar utilizado.

2.5 Diseño experimental

La variable independiente fue la industria de queso del cual se obtuvo el suero y la variable respuesta la cantidad de lactosa presente en el suero.

2.6 Análisis estadístico

Se utilizó el análisis de varianza para igualdad de observaciones y diseño completamente aleatorizado para el porcentaje de lactosa determinado en los diferentes sueros de leche, por ser un método apropiado para probar la igualdad o diferencias de varias medidas. Se analizó un factor con cuatro tratamientos de tres corridas cada uno, para tener un arreglo matricial de doce observaciones para el contenido de lactosa a determinar.

Fue un factor debido a que es única la procedencia, cuatro tratamientos que representan las cuatro industrias lácteas que proporcionaron el suero y tres repeticiones que representan los experimentos de donde se obtuvieron los porcentajes de lactosa determinados. Los datos aparecen en la siguiente tabla.

**Tabla I. Datos requeridos para un experimento, con a tratamientos y n repeticiones.
 Cuando Y = porcentaje de lactosa.**

	Tratamientos			
	1	2	a	
	$Y_{1,1}$	$Y_{2,1}$	$Y_{a,1}$	
	$Y_{1,2}$	$Y_{2,2}$	$Y_{a,2}$	
	$Y_{1,3}$	$Y_{2,3}$	$Y_{a,3}$	
Total	$Y_{1.}$	$Y_{2.}$	$Y_{a.}$	$Y_{..}$
Promedio	$\bar{Y}_{1.}$	$\bar{Y}_{2.}$	$\bar{Y}_{a.}$	$\bar{Y}_{..}$

Fuente: (Walpole Ronald, 489) ^[4]

Donde

Y_i = es el total de las observaciones bajo i -ésimo tratamiento

\bar{Y}_i = es el promedio de las observaciones bajo i -ésimo tratamiento, similarmente sea Y la suma de todas las observaciones y \bar{Y} la media general de las observaciones.

En la tabla II, se presentan los cálculos que se realizaron durante el análisis de varianza y se ilustra el área de rechazo y aceptación.

⁴ Referencia No. 5

Tabla II. Análisis de varianza

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F calculada
Tratamientos	SSA	a	$\frac{SSA}{a}$	$\frac{MSSA}{MSSE}$
Error	SSE (por sustracción)	a(n-1)	$\frac{SSE}{a(n-1)}$	
Total	SST	an-1		

Fuente: (Walpole Ronald, 494) ^[5]

Donde

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$$

$$SSA = n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2$$

$$ST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 = SST - SSA$$

Ho = promedios iguales.

Ha = Al menos dos de los promedios no son iguales.

Significancia = 0,05

Región crítica: $f > 4,07$ con $v_1 = 3$ y $v_2 = 8$ grados de libertad.

Para un nivel de confianza $(1-\alpha) = 0.95$ o $\alpha = 0.05$, con 3 grados de libertad por tratamientos y 8 grados de libertad por error, se encuentra un valor de $F_{1-\alpha} = 4.07$.

⁵ Referencia No. 5

3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ÁCIDO LÁCTICO

3.1 Condiciones óptimas

a) Organismos empleados:

El tipo de organismo a seleccionar para una fermentación depende en primer lugar del hidrato de carbono que ha de ser fermentado y de la temperatura que se vaya a emplear. Para fermentar leche o suero pueden emplearse el *Lactobacillus bulgaricus*, el *Lactobacillus casei* o el *Streptococcus lactis*. “El cultivo más adecuado para esta fermentación es *Lactobacillus bulgaricus*. Es homofermentante y capaz de convertir más del 90 por ciento de la lactosa en ácido láctico d.l. Este cultivo prolifera rápidamente, en particular a temperaturas de 45 a 50 °C, y en unas 40 horas puede fermentar toda la lactosa del suero convirtiéndola en ácido láctico”.^[6]

b) Hidratos de carbono que pueden emplearse:

Para la producción de ácido láctico pueden emplearse gran variedad de hidratos de carbono. Generalmente se emplea glucosa, sacarosa o lactosa. La fécula de maíz y patata especialmente, puede hidrolizarse por enzimas o por ácidos (con preferencia ácido sulfúrico) a maltosa y glucosa. La xilosa es fermentada por el *L. pentoaceticus* para dar principalmente ácidos láctico y acético. Suelen ser fuentes económicas de azúcares las melazas y el suero. Smith y Claborn calcularon que anualmente se obtienen unas 1,225,000 ton de lactosa en los Estados Unidos a partir de leche desnatada, suero de manteca y suero. De esta cantidad puede emplearse un gran porcentaje para la

⁶ Referencia No. 4

producción de ácido láctico. Para la elección de un hidrato de carbono debemos considerar su disponibilidad, su fermentabilidad con o sin tratamiento preliminar y su costo. Debido a esto el más recomendable carbohidrato para la producción de ácido láctico es la lactosa.^[7]

c) Temperatura de fermentación:

La fermentación láctica se lleva a cabo a temperaturas relativamente altas. La temperatura óptima debe determinarse experimentalmente para cada tipo de fermentación. Se ha determinado una temperatura óptima de 43 °C con el uso de *Lactobacillus bulgaricus*.

d) Concentración de azúcar:

La concentración de azúcar de los mostos se ajusta normalmente del 5 al 20 %, según la naturaleza de la materia prima y las condiciones del proceso. Para la fermentación del suero de leche, éste contiene aproximadamente 4 a 5% de lactosa.

e) Relación de oxígeno:

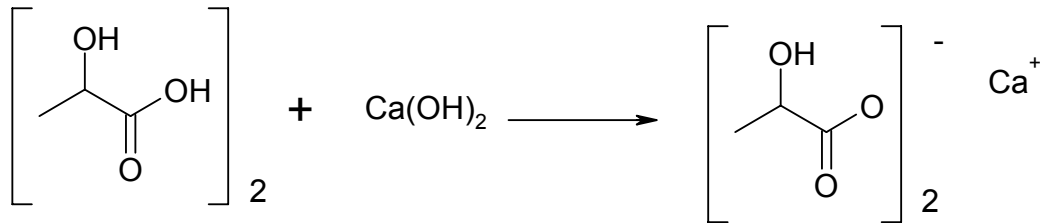
Las bacterias empleadas en la producción de ácido láctico industrial suelen ser de naturaleza microaerofílica o anaerobia. El *Lactobacillus bulgaricus* es microaerófilo.

f) pH:

La fermentación transcurre óptimamente cuando el pH está dentro de la zona ácida, pero cercano a la neutralidad, se aproxima a 7 por la adición de óxido de calcio o carbonato de calcio. Para facilitar la fermentación de la lactosa; de cuando en cuando se añaden cantidades adicionales de neutralizante para mantener el pH entre 5.5 y 7.0. El ácido láctico se neutraliza durante la fermentación con hidróxido de calcio del modo siguiente:

⁷ Referencia No. 3

Figura 8. Reacción de neutralización del ácido láctico.



Si no se neutraliza el ácido láctico, las bacterias no pueden tolerar la gran acidez desarrollada y se interrumpe la fermentación. Puede añadirse Ca(OH)_2 al principio de la fermentación ó intermitentemente a medida que ésta progresa. La ventaja de añadir el carbonato intermitentemente estriba en que la reacción ácida del medio impide el desarrollo de los contaminantes.

g) Factores de crecimiento de las bacterias lácticas:

Parece que algunas bacterias lácticas necesitan determinados factores de crecimiento. Orla-Jensen y sus colaboradores anunciaron que ciertas bacterias lácticas requerían riboflavina y al menos otro activador para su desarrollo normal. Wood y sus colaboradores confirmaron estos hechos en lo que respecta a la riboflavina. Snell, Strong y Peterson, describieron la preparación de un concentrado activo de extracto de hígado que era esencial para el desarrollo normal de las especies de bacterias lácticas por ellos investigadas. Se ha demostrado que esta sustancia activa era el ácido pantoténico. Stiles y Pruess han demostrado que mediante la adición de sustancias nutritivas, como malta germinada, macerado de maíz y residuos de grano o melazas de caña, se obtienen buenos rendimientos de ácido láctico en un corto período de fermentación. El rendimiento y el tiempo de fermentación dependen de la clase, cantidad y combinación de los alimentos accesorios. Se ha sugerido suministrar nitrógeno orgánico soluble y sustancias estimulantes de gran utilidad biológica.

h) Duración de la fermentación y rendimientos:

La fermentación del suero con *L. bulgaricus* suele completarse en el espacio de 42 a 48 horas. Se han reportado rendimientos del 90% referidos a la lactosa.

3.2 Fabricación por fermentación continua

Whittier y Rogers, estudiaron un procedimiento para la producción, de ácido láctico por fermentación continua de la lactosa del suero de leche en escala semiindustrial. La instalación consta esencialmente, de un depósito para almacenaje de suero; un recipiente para la cal, con dispositivo de alimentación; un depósito de fermentación cubierto, con accesorios para mantener la temperatura constante de $43 \pm 0.1^\circ \text{C}$, y para agitación lenta del medio; otro depósito que, recibe el líquido que rebosa del anterior, con la cuarta parte de capacidad que éste; y un tanque de coagulación, de capacidad que varía del 50 al 100 % de la del tanque de fermentación, conectado a través de un filtro prensa o una centrifuga a un evaporador.

Al principio del funcionamiento se llena el tanque de fermentación con suero a temperatura de 43°C . Se inocula la masa con un cultivo de *L. bulgaricus*, y a veces con una levadura que a causa de su crecimiento asociado acelera la fermentación. Se agita el medio inoculado manteniéndolo lo más próximo posible a 43°C durante el resto de la fermentación. Cuando el pH del medio desciende a 5.0, generalmente después de 12 h, se añade cal al medio para mantener el pH entre 5.0 y 5.8, zona favorable para las bacterias lácticas, pero inhibitoria para el desarrollo de los organismos perjudiciales. A intervalos regulares de 12 h. se determina el contenido del suero en lactosa; cuando la cantidad de ésta es menor al 1 %, generalmente a las 48 a 72 horas de

inoculación, se introduce suero que ha sido ya tratado con cal para impedir el desarrollo de bacterias. La velocidad de introducción será tal que, el volumen añadido en 24 h. sea equivalente al del tanque de fermentación.

Se hierve el suero fermentado para coagular completamente las proteínas. Cuando se quiere obtener ácido láctico en vez de lactato cálcico se añade ácido sulfúrico para precipitar el calcio y liberar el ácido. Se separan entonces, por filtración, las proteínas y el CaSO_4 del ácido láctico, que se concentra en evaporadores hasta la medida deseada.

3.3 Proceso de fermentación

La utilización del suero de caseína ha sido siempre un problema, podía emplearse como forraje o alimento de volatería una vez desecado o bien recuperarse la lactosa y la albúmina de él. Actualmente se emplea en la producción industrial de ácido láctico.

También se emplea la leche sobrante y la desnatada. En el primer caso, una vez separada la crema se precipita la caseína por medio de ácido clorhídrico, o, mejor aún, de ácido láctico, que puede recuperarse a continuación. El suero resultante, llamado suero de caseína, contiene lactalbúmina, aproximadamente 4.6 % de lactosa, vitaminas, sales minerales y agua y se emplea como substrato en la producción de ácido láctico. El proceso comercial empleado se basa en las investigaciones de Rogers y sus colaboradores del Bureau of Animal Industry, del U.S. Department of Agriculture, habiendo contribuido a su industrialización Chappell y sus colaboradores, de la Sheffield By-Product Company, y otros investigadores de los laboratorios de la National Dairy Products Corporation de Baltimore. Este

proceso ha sido descrito por Olive y Burton. Las descripciones que siguen están tomadas de los artículos del Dr. L. V. Burton.^[8]

a) Esquema del proceso:

El suero pasteurizado se inocula con el iniciador que contiene el *Lactobacillus bulgaricus*. Durante la fermentación se neutraliza intermitentemente con cal el ácido láctico producido. Al final de la fermentación se coagula la lactalbúmina por el calor y se deja sedimentar. Después de esto se decanta la solución de lactato cálcico, se filtra, se trata con un carbón decolorante y un adsorbente y se vuelve a filtrar, se evapora y se deja cristalizar. Los cristales se lavan, se purifican de nuevo y una vez secos pueden venderse como lactato cálcico o ser transformados en ácido láctico.

b) Preparación del iniciador:

Se inocula un litro de leche desnatada y esterilizada con el cultivo de *L. bulgaricus*, que contiene también una levadura para vigorizar la fermentación. Después de la incubación a 43° C durante 24 horas se añade el contenido del recipiente a un cántaro de 40 L que contiene leche desnatada y pasteurizada. Después de la incubación a 43° C durante 24 h. se vuelca el contenido sobre un depósito de 2000 L construido de hierro esmaltado, que contiene el suero pasteurizado. Una vez incubado en las mismas condiciones se emplea este medio como iniciador de la fermentación en el tanque principal.

c) El tanque de fermentación:

Su construcción es de madera y tiene una capacidad de 200 HL de suero. En el fondo lleva un tubo de latón perforado a través del cual se introduce vapor para calentar el caldo a la temperatura de fermentación o bien para la coagulación de la lactalbúmina. Lleva también un agitador mecánico y

⁸ Referencia No. 3

un tubo de latón de 10cm, que puede elevarse o bajarse con el fin de decantar la solución clara de lactato cálcico una vez coagulada la lactalbúmina. Antes de emplear el tanque se limpia, se trata con un agente químico adecuado para destruir los microorganismos y se lava, con agua pura. Para las manipulaciones de limpieza se ha previsto un tubo de salida en el fondo del depósito.

d) La fermentación:

El suero inoculado se mantiene a temperatura de 43° C. durante toda la fermentación, que suele durar 42 horas. Cada 6 horas se añade cal viva o apagada para mantener la acidez del caldo por debajo del 0.6 %. Con esto se consigue disminuir el tiempo de fermentación y aumentar los rendimientos. Al final de la fermentación se neutraliza el caldo para dejar sólo un 0.1 % de ácido láctico.

3.4 Filtración de caldo fermentado

El medio fermentado, de color verde pálido, se calienta a 96° C para coagular la lactalbúmina, dejándola sedimentar. El tiempo de sedimentación es muy corto y al cabo de 10 minutos puede decantarse el líquido que sobrenada. El líquido extraído por el tubo de decantación se lleva por medio de una bomba centrífuga, a través de un filtro prensa del tipo de marco-placa, hasta un depósito de almacenaje. Se trata aquí con cal para ajustar la alcalinidad al 0.1 %, añadiendo también un cofiltrante, como la tierra de diatomeas, y carbón decolorante. Se agita la mezcla y se deja después en reposo: al cabo de 15 minutos se decanta el líquido que sobrenada y se vuelve a pasar por un filtro prensa. La solución clara se acidifica con ácido láctico en un depósito de madera limpio hasta una acidez del 0.05 %. Se añade otra vez carbón decolorante y tierra de diatomeas, se deja sedimentar, se decanta y se filtra. El

lodo de este segundo tratamiento puede emplearse para tratar la solución original de lactato cálcico.

3.5 Evaporación, cristalización y lavado

El filtrado o licor crudo puede ser almacenado en un depósito de madera limpio o bien concentrado en un evaporador a presión reducida de 120 mm de mercurio hasta una concentración de 15° Bé y llevado a cubas de cristalización situadas en una galería superior. Cada cuba de cristalización tiene una capacidad de 15 HL y está provista con una envolvente de agua su revestimiento interior, que ha de estar en contacto con lactato cálcico, es de acero inoxidable. En la refrigeración con agua a través de las envolventes la solución se enfría a 10-15° C, cristalizando totalmente el lactato cálcico al cabo de 10 ó 12 h. Los cristales se llevan a pala a las cestas de las centrifugadoras Herpworth. Las aguas madres se guardan para otro tratamiento de purificación. Los cristales de lactato cálcico que quedan en las cestas se lavan con agua cuando todavía no ha dejado de girar la centrifugadora. El agua de lavado así obtenida se evapora hasta 13.5° Bé y se recrystaliza, centrifugando y lavando de nuevo los cristales obtenidos. El agua de lavado se somete al mismo tratamiento, obteniéndose nuevos cristales y descartando esta vez el agua de lavado.

De este modo han resultado tres clases de cristales, que se mezclan y se disuelven en una pequeña cantidad de agua a 66° C en un depósito esmaltado, Se añaden; carbón decolorante y un coadyuvante de filtración, el primero para mejorar la coloración y el segundo para ayudar la separación de las pequeñas partículas. El líquido que sobrenada lleva mediante una bomba a un filtro prensa mientras que el

lodo sirve para un segundo tratamiento del licor crudo. El líquido purificado se concentra 11.5° Bé y se lleva a cubas de cristalización. Esta se efectúa lentamente, con lo cual los cristales son más puros. El agua de lavado de estos cristales se une al licor crudo. Los cristales se desecan en un secador de túnel y constituyen la calidad más pura del lactato cálcico. Los cristales lavados, antes de secarse, pueden ser empleados en la fabricación de las mejores calidades de ácido láctico.

3.6 Clases comerciales de ácido láctico

3.6.1 Ácido láctico comercial

Esta clase de ácido láctico se produce a partir del licor crudo de lactato cálcico obtenido después del primer tratamiento de vacío. Este licor, que tiene una concentración de 13.5° Bé, se lleva por medio de una bomba a una tina de madera y se añaden carbón decolorante y agentes químicos para la precipitación del hierro y metales pesados. La mezcla se acidifica ligeramente con ácido sulfúrico de pureza electrolítica y se lleva mediante una bomba a través de una tubería de goma al depósito superior de un filtro de vacío de construcción cerámica. En la filtración se separan el CaSO_4 y otras materias precipitadas que se lavan sobre el filtro. El filtrado y las aguas de lavado constituyen una solución de ácido láctico bruto de un 22 % de concentración. Este ácido puede almacenarse ya (en depósitos de madera) o bien purificarse inmediatamente. El primer paso en el proceso de purificación es la concentración del ácido hasta 22° Bé (50 a 60 % de ácido láctico) en un evaporador de vacío construido de acero inoxidable. El ácido concentrado se lleva al depósito superior de un filtro de vacío donde se añade carbón decolorante junto con ácido sulfúrico o cal en cantidad suficiente para producir la combinación exacta del calcio y el fosfato. También puede añadirse algún

agente químico que precipite las pequeñas cantidades de metales pesados que pudiesen quedar en solución. El líquido filtrado se lleva a depósitos esmaltados, donde se ajusta la concentración de ácido al valor deseado. Es grande la demanda de los ácidos de 44 y 50 %. La distribución se hace en barriles de madera.

3.6.2 Ácido láctico para usos comestibles

El material de partida para esta calidad de ácido es el lactato cálcico bruto obtenido de la centrífuga después de la primera cristalización. Este lactato cálcico se añade a una pequeña cantidad de agua caliente en un depósito de madera para disolverlo, agregando a continuación ácido sulfúrico en cantidad suficiente para que todo el calcio pase a CaSO_4 . Finalmente se añade carbón decolorante y se agita bien la mezcla, separando los precipitados por filtración a vacío. El ácido láctico se almacena en tanques de madera y en caso necesario se concentra hasta al 50-60 % en calderas de evaporación de acero inoxidable. En el proceso de purificación se neutraliza exactamente el posible exceso de calcio o de sulfúrico añadiendo un carbón decolorante y un reactivo de precipitación de los metales pesados. Se filtra al vacío lavando el precipitado. El ácido láctico resultante de unos 28° Bé, se diluye a la concentración de 50 ó 44 %, almacenándolo en barriles de madera. Este ácido es bastante transparente.

3.6.3 Ácido láctico transparente

Esta calidad, de gran pureza, es la empleada por la industria química. Para su fabricación se emplea el lactato cálcico seco o húmedo. El proceso de purificación es análogo al empleado para la calidad anterior una vez neutralizado el calcio con ácido sulfúrico se añade carbón decolorante, etc., y se filtra al vacío. Después se evapora en el vacío hasta 18° Bé (65 %).

Este ácido ha de estar enteramente desprovisto de calcio y así se emplea un exceso de ácido sulfúrico para precipitar las últimas trazas de esta

sustancia. El ácido filtrado no ha de dar ningún precipitado en el ensayo con oxalato amónico. El exceso de ácido sulfúrico puede separarse por adición de hidróxido bórico; pero es conveniente que haya un ligero exceso de ácido sulfúrico que reaccione con el calcio que seguramente ha de tener el agua de dilución. Después de la adición de hidróxido bórico se filtra y se añade agua hasta la concentración deseada.

RESULTADOS

Descripción de la Materia Prima

Se utilizó como materia prima el suero de leche proveniente de la fabricación de distintos tipos de quesos de las diferentes industrias lácteas guatemaltecas. Los sueros eran de color amarillo claro, transparente.

Los sueros proporcionados por Chivolac traían la especificación de la acidez medida en grados a una determinada temperatura, así como el tipo de queso que se produjo del cual fueron obtenidos.

Descripción del Producto

De los sueros se obtuvieron cristales rómbicos, transparentes, de sabor dulce, inodoros, de puntos de fusión promedio de 220 °C, pero que fundían con descomposición anterior que se manifestaba en cambio de color.

Al realizar la prueba de ignición, cambian de coloración a los 205°C tomando un tono café claro iniciando el reblandecimiento de cristales, se siguen oscureciendo mientras continuaba el calentamiento desprendiendo olor a azúcar caramelizada, a los 220 °C se da la fusión de los cristales, pero luego de eso todavía dejan residuo de carbono, confirmando así ser un carbohidrato, y también ser lactosa.

Por cuanto la lactosa es un azúcar reductor, se sometieron los cristales a las pruebas de Fehling y Benedict, dando resultado positivo, al reducir el cobre a óxido cuproso, el cual se reconoce por el precipitado rojo formado en el fondo del tubo de ensayo.

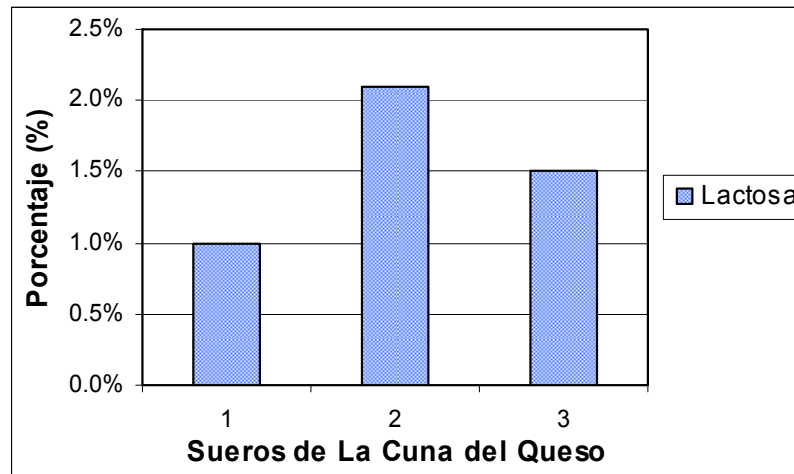
Tabla III. Aislamiento y cuantificación de lactosa en sueros

<i>Industria Láctea</i>	<i>Gramos de Lactosa por cada 125 ml.</i>	<i>Porcentaje de Lactosa en suero</i>	<i>Promedio de Lactosa</i>
La Cuna del Queso	1.3	1.0%	1.5%
	2.6	2.1%	
	1.9	1.5%	
Lácteos de Lujo	1.5	1.2%	1.2%
	1.4	1.1%	
	1.5	1.2%	
Chivolac	1.7	1.4%	1.6%
	2.1	1.7%	
	2.3	1.8%	
Inlacs	2.2	1.8%	1.9%
	2.7	2.2%	
	2.2	1.8%	
		<i>Promedio de lactosa en sueros</i>	1.6%

Tabla IV. Cantidad de ácido láctico que se puede producir

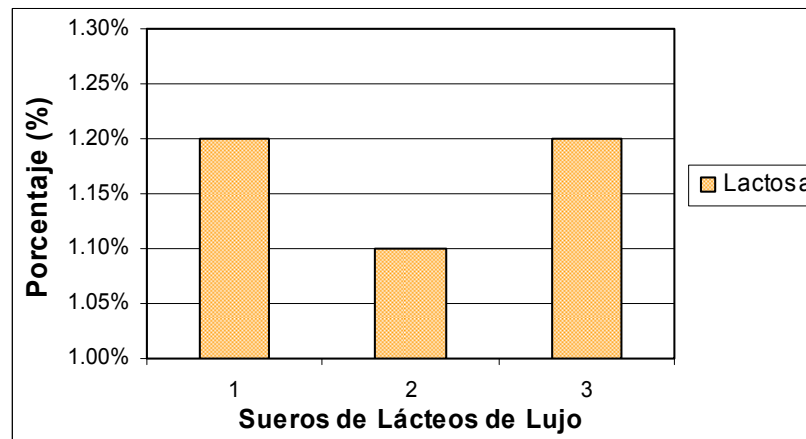
<i>Industria Láctea</i>	<i>Volumen diario de suero producido (Litros)</i>	<i>Porcentaje promedio de lactosa en suero</i>	<i>Cantidad de lactosa en suero (Kg)</i>	<i>Cantidad de ácido láctico que se puede producir (Kg)</i>
La Cuna del Queso	14,000	1.5%	210	189
Lácteos de Lujo	300	1.2%	3.6	3.24
Chivolac	1,000	1.6%	16	14.4
Inlacs	2,000	1.9%	38	34.2

Figura 9. Contenido promedio de lactosa aislada en sueros de quesos provenientes de La Cuna del Queso



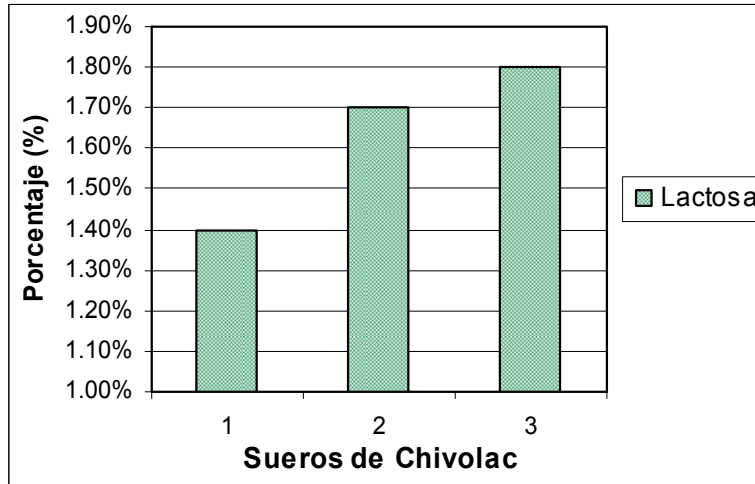
Fuente: análisis estadístico

Figura 10. Contenido promedio de lactosa aislada en sueros de quesos provenientes de Lácteos de Lujo



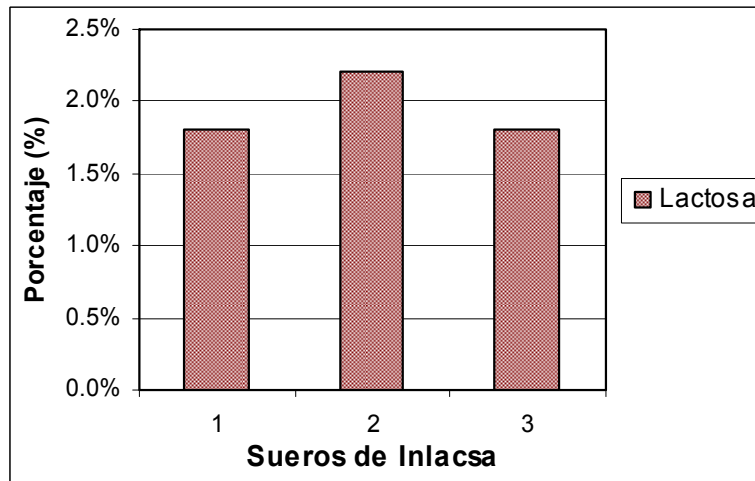
Fuente: análisis estadístico

Figura 11. Contenido promedio de lactosa aislada en sueros de quesos provenientes de Chivolac



Fuente: análisis estadístico

Figura 12. Contenido promedio de lactosa aislada en sueros de quesos provenientes de Inlacs



Fuente: análisis estadístico

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el trabajo se determinó el contenido de lactosa presente en los sueros de leche procedente de la fabricación de quesos de diversas industrias lácteas en Guatemala. En la sección de resultados se muestra los valores obtenidos. Los valores obtenidos se pueden apreciar en la tabla III.

La determinación de la lactosa se realizó a través de la metodología establecida, siendo un total de doce muestras divididas de la siguiente manera; se analizaron sueros de cuatro diferentes industrias lácteas y para cada industria se realizaron tres determinaciones de los tipos de suero adquiridos. Los contenidos reportados como porcentaje se refieren a porcentaje en peso.

Como se puede observar en la tabla III, el valor de Lactosa esta en el rango entre 1.2% y 1.9%, con un promedio general de 1.6%.

Figura 13. Contenido promedio de lactosa en todas las industrias trabajadas



Fuente: análisis estadístico

La caracterización de la lactosa se realizó por medio de la toma de puntos de descomposición y de la prueba de azúcares reductores. De donde se obtuvo un punto de descomposición promedio de 205 °C como se puede observar en la tabla XI ^(Apéndice C), muy cercano al punto de descomposición reportado en libros de 203 °C, y bastante distante de los puntos de la glucosa (146 °C) y galactosa (170 °C), por lo que partiendo de ahí podemos asegurar que es lactosa. Pero conociendo la naturaleza de la lactosa como azúcar reductor, se realizaron también las pruebas de Benedict y Fehling, dando resultado positivo al reducir el cobre en solución a óxido cuproso, manifestado por medio de un precipitado rojizo.

En el análisis de varianza, para el contenido promedio de lactosa se observó que la F calculada con un valor de 2.98 está dentro de la región no crítica de la distribución F con una significancia de 0.05, es decir el 95% de confianza, cuyo límite se encuentra cuando F es igual a 4.07 como se observa en la tabla IX ^(ApéndiceB), aceptando de esta manera la hipótesis nula del análisis de varianza, por lo cual, queda demostrado que no existe diferencia significativa en los porcentajes de rendimientos de los sueros de las diferentes industrias. Lo cual era esperado pues la producción de quesos absorbe principalmente las proteínas de la leche, dejando una buena proporción de lactosa en el suero.

En base a lo anterior, si extrapolamos el promedio de lactosa a las principales industrias lácteas del país, obtenemos que la producción de ácido láctico anual sería aproximadamente de 260,000 kg como se observa en la tabla VII ^(Apéndice A). Pero La cifra en cantidad de kilogramos de los diferentes tipos de ácido láctico y sus sales importados para Guatemala para el año 2002 es de 427,434 Kg^[9], y para el año 2003 ascendió la cantidad a 541,772 Kg^[10],

⁹ Partida arancelaria de importación 29181100 del año 2002, proporcionada por el Banco de Guatemala.

¹⁰ Partida arancelaria de importación 29181100 del año 2003, proporcionada por el Banco de Guatemala.

de donde vemos que va en aumento, por lo que no se puede suplir en su totalidad la demanda nacional de ácido láctico pero si de manera parcial, debido a la poca disponibilidad de materia prima.

Al analizar las condiciones para la producción de ácido láctico, tomamos como referencia otras industrias que producen ácido láctico. Por ejemplo, en una instalación de la Sheffield By-Products Company, en Norwich (Nueva York), se produce comercialmente ácido láctico a partir de lactosa con una capacidad de cinco toneladas diarias de ácido láctico, además de los lactatos de sodio y calcio^[11]. En una planta de Argentina, ubicada en Franck, provincia de Santa Fe, se procesan 500,000 litros de suero diarios, ampliables a 1,000,000 de litros, de donde se obtienen 15,000 Kg de Lactosa^[12], pudiendo producir 13,500 Kg de ácido láctico al día. Como vemos en la tabla VII ^(Apéndice A), en Guatemala se podrían producir alrededor de 712 Kg diarios de ácido láctico utilizando todo el suero del país, por lo que no se alcanza ni siquiera el 15% de la capacidad de producción de la industria con menor capacidad de las dos que hemos tomado como referencia.

Por lo cual vemos que sería factible producirlo, no a nivel industrial pues la producción sería muy poca en comparación con las industrias típicas que producen ácido láctico teniendo como limitante la materia prima, pero si podemos producirlo a nivel planta piloto.

En cuanto a la disponibilidad del suero existente, la gran mayoría de industrias estarían dispuestas a venderlo, pues es algo que no produce mayor ganancia para ellas.

¹¹ Referencia No. 3, pp. 421

¹² Referencia No. 6, pp. 44

En el capítulo tres, se presenta el proceso de producción de ácido láctico a partir de la fermentación de suero, y se muestra un esquema de una planta productora de ácido láctico y sus derivados en funcionamiento, lo cual puede tomarse como referencia, para producirlo a nivel planta piloto.

En nuestro país, se cuenta con mano de obra calificada y personal especializado tal como profesionales en ingeniería química, ya que la planta de producción de ácido láctico por fermentación funciona de manera similar a una planta productora de etanol por fermentación. Esto asegura la disponibilidad de equipo necesario en el país, para producir ácido láctico, pues debido a que los ingenios azucareros poseen plantas piloto productoras de etanol, algunas empresas se han provisto de los equipos necesarios para su producción.

CONCLUSIONES

1. Por el momento, no es posible suplir la demanda interna del país de ácido láctico, debido a que no existe la cantidad de suero suficiente para la producción.
2. No es factible producir ácido láctico a nivel industrial en Guatemala, pero sí es factible producirlo a nivel planta piloto.
3. El suero de leche, producto de la industria láctea guatemalteca, contiene entre el 1.2 y el 1.9% de lactosa.
4. Existe disponibilidad de suero de leche para ser sometido al proceso de producción industrial de ácido láctico.
5. Es necesaria la industrialización y el aprovechamiento de los subproductos de desecho de la industria guatemalteca.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda producir ácido láctico a nivel planta piloto, no a nivel industrial debido al limitante de materia prima, pues no se produce suficiente suero de leche en el país para suplir la demanda local de ácido láctico.
2. Realizar una evaluación de los costos de recolección de suero, para su posterior uso para la producción de ácido láctico, ya que el transporte de líquido suele tener un costo elevado.
3. Evaluar la rentabilidad para la producción comercial de ácido láctico por fermentación, a partir de suero de leche para su posterior comercialización, por medio de un análisis de costos con el fin de aumentar la productividad de la industria láctea.

REFERENCIAS

1. **Merck Index**. Eighth Edition; Merck & Co., Inc.; N.J., USA, 1968.
2. Kirk, Raymond; Othmer, Donald. “**Enciclopedia de la Tecnología Química**”. Edición en español, traducida del inglés; Editorial Hispano-Americana, México, 1961. Tomo 10, pp. 70-71.
3. Prescott, Samuel Cate; Duna, Cecil Gordon. “**Microbiología Industrial**”. Segunda edición en español; Aguilar, S. A. de Ediciones; Madrid, España, 1952. pp. 418-426.
4. Robinson. “**Microbiología Lactológica**” Volumen 1; Editorial Acribia, S. A.; España, 1987. pp. 467-468.
5. Walpole, Ronald; Myers, Raymond. “**Probabilidad y Estadística**”. Cuarta edición (Tercera en español); McGraw – Hill/ Interamericana de México, S.A. de C.V.; México, 1992. pp. 485-495.
6. Revista “**La Alimentación Latinoamericana**”, No. 197; Argentina, 1993. pp. 42-44.

BIBLIOGRAFÍA

1. Geankoplis, C. J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias**. 3ª ed. México: Editorial CECSA, 1999. 1024 pp.
2. Foster, Edwin; Nelson, Eugene y otros. **Microbiología de la Leche**. Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID); Primera Edición; Editorial Herrero, S.A.; México, 1965.
3. McCabe Warren L, Smith Julian C. y Harriott Meter. **Operaciones unitarias en Ingeniería Química**. 4ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, 2000. 1114 pp.
4. Montgomery, Douglas. **Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración**. 3ª ed. México: Editorial continental, 1994. pp. 834.
5. Perry Robert, Green Don W. **Manual del ingeniero químico**. 7ª ed. México: Editorial McGraw-Hill, 1999.
6. Shriner Ralph L, Fuson Reynold C. y Curtin David Y. **Identificación sistemática de compuestos orgánicos**. 5ª ed. México: Editorial Limusa, 1990.

APÉNDICE A

DATOS CALCULADOS

Tabla V. Datos calculados para contenido promedio de lactosa.

<i>Industria Láctea</i>	<i>Gramos de Lactosa por cada 125 ml.</i>	<i>Porcentaje de Lactosa en suero</i>	<i>Promedio de Lactosa</i>
La Cuna del Queso	1.3	1.0%	1.5%
	2.6	2.1%	
	1.9	1.5%	
Lácteos de Lujo	1.5	1.2%	1.2%
	1.4	1.1%	
	1.5	1.2%	
Chivolac	1.7	1.4%	1.6%
	2.1	1.7%	
	2.3	1.8%	
Inlacs	2.2	1.8%	1.9%
	2.7	2.2%	
	2.2	1.8%	
		<i>Promedio de lactosa en sueros</i>	1.6%

Fuente: datos originales

Tabla VI. Datos Calculados para cantidad de ácido láctico a producir en las cuatro industrias lácteas que proporcionaron muestras.

<i>Industria Láctea</i>	<i>Volumen diario de suero producido (Litros)</i>	<i>Porcentaje promedio de lactosa en suero</i>	<i>Cantidad de lactosa en suero (Kg)</i>	<i>Cantidad de ácido láctico que se puede producir (Kg)</i>
La Cuna del Queso	14,000	1.5%	210	189
Lácteos de Lujo	300	1.2%	3.6	3.24
Chivolac	1,000	1.6%	16	14.4
Inlacs	2,000	1.9%	38	34.2

Fuente: datos originales

Tabla VII. Datos extrapolados para cantidad de ácido láctico a producir en el país.

<i>Industria Láctea</i>	<i>Volumen diario aproximado de suero producido (Litros)</i>	<i>Porcentaje promedio de Lactosa en suero</i>	<i>Cantidad de Lactosa en suero (Kg)</i>	<i>Cantidad de ácido láctico que se puede producir (Kg)</i>
La Cuna del Queso	14,000	1.60%	224	201.6
Lácteos de Lujo	300	1.60%	4.8	4.32
Chivolac	1,000	1.60%	16	14.4
Inlacsa	2,000	1.60%	32	28.8
Parma	25,000	1.60%	400	360
Pasajinak	2,000	1.60%	32	28.8
Quinta Niza	800	1.60%	12.8	11.52
Haas	220	1.60%	3.52	3.168
La Normandía	700	1.60%	11.2	10.08
Delicias del Oriente	200	1.60%	3.2	2.88
Ilgua	2,000	1.60%	32	28.8
Otros	1,250	1.60%	20	18
Total diario				712.37
Total anual				260,014.32

Fuente: datos originales, entrevista con los gerentes de producción de cada industria láctea mencionada sobre la cantidad de suero producido.

APÉNDICE B

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla VIII. Tratamientos para el Análisis de Varianza

	Industria Láctea				
	La Cuna del Queso	Lácteos de Lujo	Chivolac	Inlaca	
Porcentaje de Lactosa en Suero	1.0	1.2	1.4	1.8	
	2.1	1.1	1.7	2.2	
	1.5	1.2	1.8	1.8	
Total	4.6	3.5	4.9	5.8	18.8
Promedio de Lactosa	1.5	1.2	1.6	1.9	1.6

Fuente: análisis estadístico

Tabla IX. Análisis de Varianza para el contenido promedio de Lactosa

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media Cuadrática	F calculada	F tabulada
Industrias	0.90	3	0.30	2.98	4.07
Error	0.81	8	0.10		
Total	1.71	11			

Fuente: análisis estadístico

APÉNDICE C

DATOS ORIGINALES

Tabla X. Datos originales para contenido de Lactosa

<i>Industria Láctea</i>	<i>Repetición</i>	<i>Gramos de Suero por cada 125 ml.</i>	<i>Peso papel filtro (g)</i>	<i>Peso final muestra</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Porcentaje de Lactosa</i>
La Cuna del Queso	1	124	0.6	1.9	1.3	1.0%
	2	124.4	0.6	3.2	2.6	2.1%
	3	124.7	0.6	2.5	1.9	1.5%
Lácteos de Lujo	1	125.5	0.6	2.1	1.5	1.2%
	2	127.4	0.6	2.0	1.4	1.1%
	3	126.1	0.6	2.1	1.5	1.2%
Chivolac	1	121.5	0.6	2.3	1.7	1.4%
	2	125.0	0.6	2.7	2.1	1.7%
	3	125.8	0.6	2.9	2.3	1.8%
Inlacsa	1	125.2	0.6	2.8	2.2	1.8%
	2	125.0	0.6	3.3	2.7	2.2%
	3	124.3	0.6	2.8	2.2	1.8%

Tabla XI. Datos originales para caracterización de la Lactosa

<i>Industria Láctea</i>	<i>Repetición</i>	<i>Punto de descomposición (°C)</i>	<i>Punto de reblandecimiento de Cristales (°C)</i>	<i>Resultado prueba de Benedict y Fehling</i>
La Cuna del Queso	1	205	225	positivo
	2	208	225	positivo
	3	210	220	positivo
Lácteos de Lujo	1	206	225	positivo
	2	208	225	positivo
	3	208	221	positivo
Chivolac	1	203	218	positivo
	2	198	221	positivo
	3	204	220	positivo
Inlacsa	1	209	211	positivo
	2	205	213	positivo
	3	200	219	positivo
PROMEDIO		205	220	positivo

APÉNDICE D

Figura 14. Muestra fresca de suero de leche proveniente de la fabricación de queso fresco

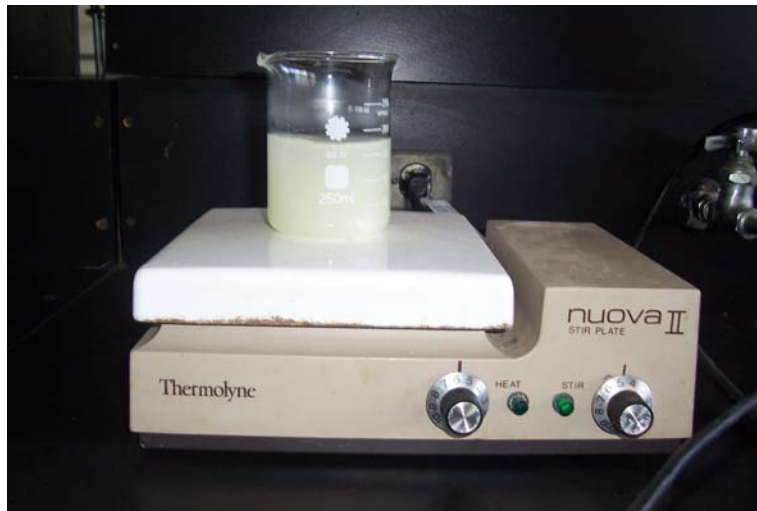


Figura 15. Primer filtrado de la muestra



Figura 16. Primer filtrado siendo evaporado



Figura 17. Primer filtrado evaporado, luego de haber agregado alcohol al 95% y carbón activado



Figura 18. Segundo filtrado



Figura 19. Líquido claro listo para cristalizar



Figura 20. Cristales de Lactosa en solución



Figura 21. Recuperación de Lactosa en muestra por medio de filtrado



Figura 22. Secado de muestra recuperada



Figura 23. Vista de muestra recuperada y seca

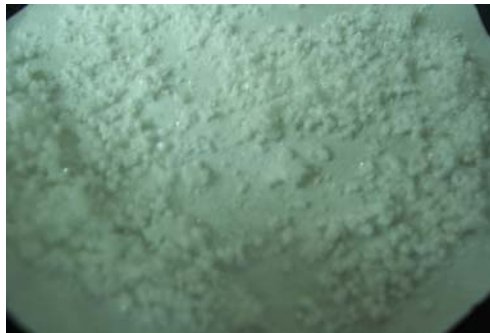
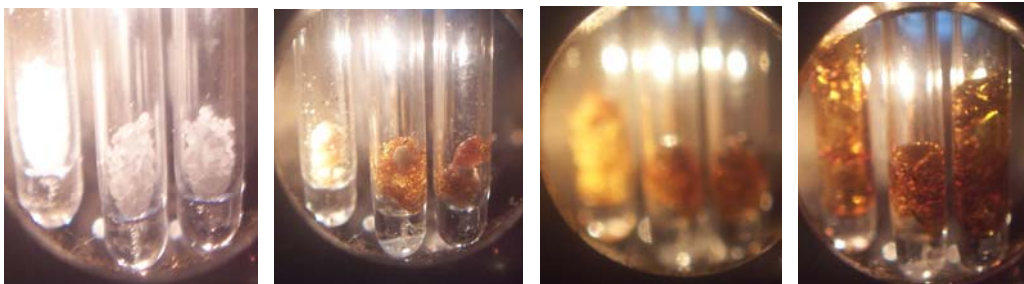


Figura 24. Toma de puntos de fusión (avance)



APÉNDICE E

**ANÁLISIS DE RECURSOS Y COSTOS UTILIZADOS EN LA
REALIZACIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Tabla XII. Costo de las actividades realizadas durante el estudio

No.	Actividad	Costo Unitario	Unidades	Costo Final
1	Recolección de 12 muestras Incluye el costo de combustible para transporte, debido a que las muestras fueron obsequiadas por las industrias lácteas	Q 30.00 / viaje	6 viajes	Q 180.00
2	Análisis de laboratorio Incluye el costo de reactivos, cristalería, depreciación de equipos, materiales de desecho como papel filtro y papel pH, tiempo y salario del analista	Q 125.00 / muestra	12 muestras	Q 1,500.00
3	Revisiones bibliográficas y consultas por internet	Q 25.00 / consulta	6 consultas	Q 150.00
4	Consultoría Profesional Se refiere al tiempo dedicado por el asesor del trabajo de graduación	Q 900.00 / hora	6 horas	Q 5,400.00
5	Análisis de datos y elaboración de informe Se refiere al tiempo dedicado por el investigador en la realización del trabajo de graduación	Q 5,000.00 / mes	3 meses	Q 15,000.00
6	Papelería y útiles de oficina			Q 800.00
7	Gastos por servicios Se refiere a energía eléctrica por uso de equipo de informática y gasto de teléfono debido a entrevistas telefónicas			Q 300.00
	Total			Q 23,330.00