

**UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**



**UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS**

Título: Propuesta tecnológica para la producción de etanol a partir del lactosuero en la Empresa de Productos Lácteos “Escambray”

Autor: *Leonardo David Villafaña Díaz.*

Tutores: *Ing. Regla Perenzuela Díaz. y Ing. Leandro Luis Rodríguez Monteagudo.*

Colaboradores: *Ing. Jorge Manuel Pérez Villivá.*

Diciembre 2023, Cienfuegos.

*“El éxito es la suma de pequeños esfuerzos
repetidos día tras día”*

Robert Collier.

Dedicatoria

A mis padres, pues son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo ello de una manera desinteresada y llena de amor.

A todos mis amigos y compañeros de clase, los cuales me han aportado su conocimiento y con los cuales he compartido momentos llenos de felicidad.

En especial a toda mi familia por simplemente estar hay para mí en todo momento.

Agradecimientos

Les quiero agradecer a mis tutores Regla Perenzuela y Leandro Luis, que sin su ayuda y conocimiento no hubiese sido posible realizar este proyecto.

Les quiero agradecer a mis padres, por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida.

A mis compañeros de clase, con los que he compartido grandes e inolvidables momentos.

A mis amigos, por estar siempre a mi lado.

A todos mis familiares, por su apoyo.

A todos aquellos que siguen estando cerca de mí y que le regalan a mi vida algo de ellos.

A todos, muchas gracias.

Síntesis

Este trabajo se realizó en la Empresa de Productos Lácteos “Escambray”, es el resultado del proceso investigativo desarrollado por el autor a partir de la problemática existente, relacionada con el uso del lactosuero provenientes de la fabricación de queso. Con el propósito de solucionar este problema se propone una tecnología apropiada dirigida a la obtención de etanol y para su realización se utilizaron métodos teóricos y prácticos donde sobresale el análisis, la síntesis, y la elaboración conjunta. Su desarrollo consta con una documentación preparatoria del proyecto y para la realización del mismo se hizo un estudio bibliográfico que incluía los posibles usos que tienen en diferentes industrias los productos a obtener y las diferentes alternativas tecnológicas a utilizar. Se realizó un diagnóstico de la empresa, y utilizando técnicas multicriterio, entre ellas el método Delphi para la selección de la alternativa más adecuada. Este proyecto fue fundamentado a partir de propuestas realizadas a un grupo de expertos. Se realizaron los balances de masa para determinar las corrientes de entrada y salida en cada etapa. Se realizaron los análisis económicos propuestos por la ingeniería química para determinar los Costos Totales de Inversión y el Costo Total de producción. Adicionalmente se analizaron los criterios ambientales y sociales necesarios resultando significativos para la propuesta.

Palabras claves: Lactosuero, etanol, tecnología

Abstract

This work was carried out at the Dairy Products Company “Escambray”, it is the result of the investigative process developed by the author based on the existing problem, related to the use of whey from cheese manufacturing. With the purpose of solving this problem, an appropriate technology aimed at obtaining ethanol is proposed and for its realization theoretical and practical methods were used where analysis, synthesis, and joint production stand out. Its development consists of preparatory documentation of the project and to carry it out a bibliographic study was carried out that included the possible uses that the products to be obtained have in different industries and the different technological alternatives to be used. A diagnosis of the company was carried out, using multi-criteria techniques, including the Delphi method to select the most appropriate alternative. This project was based on proposals made to a group of experts. Mass balances were carried out to determine the input and output currents in each stage. The economic analyzes proposed by chemical engineering were carried out to determine the Total Investment Costs and the Total Production Cost. Additionally, the necessary environmental and social criteria were analyzed, proving significant for the proposal.

Keywords: Whey, ethanol, technology

Índice

CAPÍTULO I. GENERALIDADES	11
1.1 Materia prima principal. Lactosuero.....	11
1.1.1 Tipos de lactosuero.....	12
1.1.2 Composición y características del lactosuero.	14
1.1.3 Problemas ambientales ocasionados por el lactosuero.	17
1.1.4 Principales usos del lactosuero.....	17
1.2 Etanol.....	18
1.2.1 Propiedades físico químicas.....	19
1.2.3 Características físico-químicas.....	19
1.2.4 Aplicaciones y usos del alcohol etílico	20
1.2.5 Grado alcohólico.....	21
1.2.6 Obtención de etanol a partir de lactosuero	21
1.3 Método Multicriterio	21
1.3.1 Método Delphi. Generalidades	22
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	24
2.1 Materiales y Métodos. Diagrama heurístico.....	24
2.2 Características generales de la empresa.	25
2.2.1 Misión	25
2.2.2 Visión	25
2.2.3 Situación geográfica	26
2.3 Propuesta de productos	26
2.4 Análisis y selección de alternativas.....	26
2.4.1 Selección del número de expertos	27
2.4.2 Análisis de valoración de aspectos (Método Delphi)	29
2.4.3 Análisis de la concordancia en la valoración de aspectos (coeficiente Kendall).....	31
2.4.4 Validación del criterio de expertos	32
2.5 Balance de materiales	32
2.6 Análisis técnico-económico.....	33
2.6.1 Costo total del equipamiento (CTE)	33
2.6.3 Análisis económico para la tecnología utilizada	34
2.6.4 Costo total de producción	34

2.6.5 Valor actual neto (VAN)	34
2.6.6 Tasa interna de retorno (TIR)	35
2.6.7 Período de recuperación de la inversión (PRI).....	36
CAPÍTULO 3. RESULTADOS	37
3.1 Valoración de aspectos (Método Delphi)	37
3.2 Balance de materiales	38
3.3 Análisis técnico-económico.....	40
3.3.1 Costo total de la inversión	40
3.3.2 Costo total de producción	40
3.3.3 Indicadores dinámicos de rentabilidad	41
3.4 Consideraciones ambientales y sociales.....	42
3.4.1 Consideraciones ambientales.....	42
3.4.2 Consideraciones sociales	42
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	44

INTRODUCCIÓN

La industria láctea alrededor del mundo es una de las principales industrias alimenticias a nivel animal. Genera grandes recursos, y su forma de producción depende de las tecnologías utilizadas, produciendo leche y derivados. En el marco cubano, la leche es producida principalmente por pequeños grupos ganaderos, quienes venden su producción láctea a las marcas de expendio y procesamientos de lácteos. El presente trabajo se realizará en la Empresa de Productos Lácteos “Escambray” perteneciente al Municipio de Cumanayagua, Provincia Cienfuegos.

Uno de los derivados más comunes de la industria láctea es la producción de quesos en sus diferentes variedades. Esta producción trae consigo la existencia de un residual, el suero, el cual es desechado después de haber extraído casi la totalidad de sus proteínas y de ser descremado (Chimbo Peñaloza, 2015). El suero de la leche está compuesto en general aproximadamente de un 93, 1 % de agua, 4, 9 % de lactosa, 0, 9 % de proteína cruda, 0, 6 % de minerales, 0, 3 % de grasa, 0, 2 % de ácido láctico y vitaminas hidrosolubles. Aunque esta composición varía dependiendo del origen de la leche y del tipo de queso elaborado. Uno de los componentes mencionados es la lactosa, la cual, es un disacárido formado por la unión de una molécula de glucosa y otra de galactosa. Se conoce también como azúcar de la leche de las hembras de la mayoría de los mamíferos en una proporción del 4 al 5 % de glucosa.

Así, el suero de leche es el producto residual más abundante de la industria láctea, y por ende, un residuo que puede causar daños al medio ambiente. Su desecho, representa un serio impacto ecológico, entre los más grandes de la industria láctea.

Así, de la propuesta empresarial se define el *problema de investigación* como:

Cómo obtener un producto con valor agregado, a partir del lactosuero en la Empresa de Productos Lácteos “Escambray”

Del problema planteado se define la siguiente *hipótesis*:

La propuesta de una tecnología para la obtención de etanol a partir del lactosuero permitirá, obtener un producto de alto valor agregado incrementando la actividad económica de la industria alimenticia.

Objetivo General:

Proponer una tecnología para la producción de etanol a partir del lactosuero en la Empresa de Productos Lácteos “Escambray”

Objetivos específicos:

1. Establecer los fundamentos científicos que sustentan la investigación.
2. Seleccionar una propuesta tecnológica para la obtención de etanol a partir de lactosuero.
3. Evaluar técnica, económica, ambiental y social la tecnología propuesta.

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

En este capítulo se abordará sobre el lactosuero, sus características, la composición y los daños que puede ocasionar en el ambiente por su vertimiento. Además, se hablará sobre el etanol, sus características y como se obtiene el mismo a partir del lactosuero, para así darle solución al principal objetivo de la investigación.

1.1 Materia prima principal. Lactosuero.

El lactosuero es definido como “la sustancia líquida obtenida por separación del coágulo de leche en la elaboración de queso”. Es un líquido translúcido verde obtenido de la leche después de la precipitación de la caseína.

Cada kilogramo de queso producido genera 9 kilogramos de suero y anualmente, a nivel mundial, se producen 110 millones de toneladas. Su composición química ha permitido su utilización como aditivo funcional en varios alimentos (González & Fernández, 2006).

Cada 1 000 litros de lactosuero generan cerca de 35 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y cerca de 68 kg. de demanda química de oxígeno (DQO). Esta fuerza contaminante es equivalente a la de las aguas negras producidas en un día por 450 personas (González & Fernández, 2006).

Existen varios tipos de lactosuero, dependiendo principalmente de la eliminación de la caseína, el primero denominado lactosuero dulce, está basado en la coagulación por la renina a pH 6,5. El segundo llamado lactosuero ácido resulta del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o ácidos minerales para coagular la caseína para la elaboración de quesos frescos (Huertas, 2009). La diferencia entre estos dos tipos de lactosuero son el contenido de mineral, la acidez y la composición de la fracción de proteína de lactosuero.

El lactosuero tiene gran influencia sobre la actividad antitrombótica, ya que estimula la proliferación y las funciones biológicas de las bifidobacterias que se encuentran en el tracto intestinal de los niños alimentados con leche materna (López, 2022). Representa una rica y variada mezcla de proteínas secretadas que poseen amplio rango de propiedades químicas, físicas y funcionales, concretamente suponen alrededor del 20 % de las proteínas de la leche bovina. Contiene la mayor parte del agua y de los componentes solubles de la leche, quedando una pequeña parte retenida en la cuajada.

La fabricación de queso inevitablemente da lugar a la producción de una gran cantidad de lactosuero, lo que representa cerca del 90 % del volumen total de la leche empleada en quesos madurados.

Pueden existir tres clases de lactosuero, las cuales dependen del producto primario con el que fue elaborado el producto; estas son: el suero dulce, el suero semiácido y el ácido. Los primeros pueden ser reutilizados por su alta concentración de proteínas, que va de un 25 a 80 % (Río et al., 2014), para elaborar alimentos de consumo humano o animal; lo que no puede ocurrir con el suero ácido, que necesitaría un proceso adicional para regular su pH por lo que es desechado, generalmente. Existe una caracterización positiva del suero como para explorar y experimentar en la búsqueda de productos alternativos. Sin embargo, el desecho del suero lácteo ha sido y sigue siendo uno de los grandes problemas de la industria alimentaria, ya que éste representa una ingente fuente de recursos que simplemente son desechados a las alcantarillas en la mayor parte de los casos, llegando también a sumar en el impacto causado por la contaminación ambiental.

El vertido directo de estas aguas residuales a las redes de saneamiento urbanas suele ocasionar problemas graves en el funcionamiento de las estaciones depuradoras. En estos efluentes se pueden encontrar elevadas concentraciones de sales, por ejemplo en las salmueras de las industrias del aderezo o en el caso del lactosuero de las queserías, pesticidas no degradados. Por ello, se suele exigir un tratamiento in-situ en las instalaciones que las generan que suelen ser sometidas al correspondiente control y regulación por las autoridades competentes (Río et al., 2014). Se crearon nuevas tecnologías. Estos aspectos son abordados en la siguiente cita: Identificamos la evolución de las tecnologías del suero y sus aplicaciones en alimentos y encontramos que desde 1977 y hasta 1982 esta tecnología estuvo en una etapa emergente. Desde ese año y hasta la actualidad la tecnología se encuentra en una etapa de crecimiento, caracterizada por una alta actividad de patentamiento, un alto impacto competitivo de las tecnologías que se desarrollan y un gran número de competidores (López, 2022).

1.1.1 Tipos de lactosuero.

Existen dos tipos de lactosueros, los ácidos y los dulces. Su origen y características se describen a continuación:

Tabla 1.1 Origen y principales características de los lactosueros derivados de la elaboración de quesos

Tipos de lactosueros	Origen	Características
Lactosueros ácidos	Proviene de la fabricación de quesos frescos y de pasta blanda	Una parte de la lactosa se ha transformado en ácido láctico y son ricos en Ca y P
Lactosueros dulces	Proviene de la fabricación de quesos de pasta cocida y prensada	Pobres en ácido láctico y en Ca y P

Fuente. (López, 2022)

Existen varios tipos de lactosuero dependiendo principalmente de la eliminación de la caseína y se diferencian en el contenido mineral, el pH, la composición de la fracción proteica y en el contenido de lactosa. Según la forma de producir la separación de la principal proteína (caseína) de la leche se obtienen 2 tipos diferentes de lactosuero:

➤ **Lactosuero ácido.**

Es proveniente del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o ácidos minerales para la coagulación ácida de la caseína y se utiliza para la fabricación de quesos frescos o de pasta blanda y generalmente debe neutralizarse primero para la mayor parte de sus aplicaciones, reduciendo el contenido de la lactosa por causa de la fermentación láctica (ácido láctico) (Parra Huertas, 2009) Este lactosuero es obtenido a partir de leche de vaca y/o de cabra; en ellos la lactosa se ha transformado en ácido láctico, es rico en calcio y fósforo; el pH es menor a 4,5 y los Grados Dornic(°D) menores que 20 (Hernández, García, Cruz, Santillán, & Marzo, 2012).

➤ **Lactosuero dulce.**

Un lactosuero dulce, se produce a partir de la fabricación del queso por la coagulación enzimática (renina) y es un buen sustrato para todas las utilidades o transformaciones, de modo que se dice que si en la coagulación de la leche se utiliza enzimas, el lactosuero se denomina dulce y si se reemplaza la enzima por ácidos orgánicos se denomina ácido (Parra Huertas, 2009).

Según sus propiedades fisicoquímicas el lactosuero dulce se da a partir de la fabricación de quesos de pasta cocida y prensada (vaca) y quesos de ovejas; pobres en

calcio y fósforo; el pH es mayor a 6, 0 y presentan grados Dornic (°D) mayores a 50 (Callejas Hernández et al., 2012). En la **Tabla 1.2** se describe la clasificación de los lactosueros derivados de la producción de queso, considerando su acidez.

Tabla 1.2. Clasificación de los lactosueros según su acidez.

Tipos de suero	Acidez titulable(%)Ácido láctico	pH
Suero dulce	0,10 a 0,20	5,8 a 6,6
Suero medianamente ácido	0,20 a 0,40	5,0 a 5,8
Suero ácido	0,40 a 0,60	4,0 a 5,0

Fuente:(Font, 2006).

Los lactosueros ácidos y dulces pueden ser condensados, secados, fermentados, deslactosados, desmineralizados y desproteinizados por medio de tecnología como la ultra-filtración, ósmosis inversa, intercambio de iones y la electrodiálisis.

1.1.2 Composición y características del lactosuero.

En la composición del lactosuero se encuentran las α -lactoglobulina (20 - 44 %), β -lactoglobulina (44 - 52 %), casoalbúminas (5 - 7 %), inmunoglobulinas (12 - 16 %) y proteosa-peptonas (19 %). También, contiene la mayor cantidad de aminoácidos esenciales (400 mg/g) siendo superior al huevo, y posee 32 mg/g de aminoácidos azufrados con un valor superior al de la carne y la caseína comparados nutricionalmente (Uribe, Valencia, Monzón, & Suescún, 2008).

Estas proteínas son un conjunto de sustancias nitrogenadas que no precipitan a pH 4, 6 que corresponde al punto isoelectrico de la caseína bruta, por lo que se les denomina también caseínas solubles, su valor nutritivo es 25 a 35 % superior que el de la caseína.

El lactosuero de quesería contiene principalmente lactosa y proteínas como sustancias de importante valor nutritivo, minerales, vitaminas y grasa; como se muestra en la **tabla 1.3**, la lactosa es el principal componente nutritivo, además es el componente mayoritario de la materia seca de la leche, de modo que el 95 % de la lactosa se pierde en el lactosuero durante el proceso de la fabricación de quesos. Este es un glucósido reductor que pertenece al grupo de los diholósidos y está formada por la unión de una molécula de α o β -glucosa y otra β -galactosa.

Tabla 1.3 Composición de lactosuero.

Componente	Lactosuero dulce(g/L)	Lactosuero ácido(g/L)
Sólidos totales	63,0 - 70,0	63,0 - 70,0
Lactosa	46,0 - 52,0	44,0 - 46,0
Proteína	6,0 - 10,0	6,0 - 8,0
Calcio	0,4 - 0,6	1,2 - 1,6
Fosfatos	1,0 - 3,0	2,0 - 4,5
Lactatos	2	6,4
Cloruro	1,1	1,1

Fuente: (Panesar et al., 2007).

Este gran contenido de nutrientes genera aproximadamente 3, 5 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 6, 8 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kg de lactosuero líquido, siendo la lactosa, el principal componente de sólidos que contribuye a la alta DBO y DQO (Monserrath Elizabeth, 2013).

Tabla 1.4 Contenidos en vitaminas del lactosuero.

Vitaminas	Concentración (mg/ml)	Necesidades diarias (mg)
Timina	0,38	1,5
Riboflavina	1,2	1,5
Ácido nicotínico	0,85	10 - 20
Ácido pantoténico	3,4	10
Piridoxina	0,42	1,5
Cobalamina	0,03	2
Ácido ascórbico	2,2	10 - 75

Fuente. (Huertas, 2009).

El contenido proteínico que es presentado en la **Tabla 1.5**, es el más alto en volumen después de la lactosa, siendo el principal componente nutricional presente en este líquido, como ya se ha mencionado anteriormente. El suero dulce contiene entre 6 g/L y 10 g/L de proteínas, mientras que el suero ácido tiene entre 6 g/L y 8 g/L. El tipo de proteínas que contiene el lactosuero se absorben de manera inmediata, se argumenta en la siguiente cita: “Las proteínas de suero de leche son proteínas rápidas, llegan al yeyuno casi inmediatamente después de entrar en el estómago, es decir, son bastante aprovechadas por el cuerpo humano. Además, estas proteínas tienen un alto valor biológico, como se anota a continuación: “Debido a su contenido de aminoácidos esenciales, el valor biológico de las proteínas de suero de leche es alto comparado con el de otras proteínas. Las cuatro proteínas principales que aporta el suero de leche a la nutrición son: β -

lactoglobulina (β -LG), α -lactoalbúmina (α -La), albúmina de suero sanguíneo (BSA) e inmunoglobulina (Ig). Además otras proteínas que se presentan en menor proporción, las cuales se enumeran en la siguiente cita: “lactoferrina, transferrina y la fracción lactolin proteosa-peptona (PP) (Hernández Rojas & Vélez Ruiz, 2014). Funciones que cumplen estas proteínas:

Tabla 1.5 Composición proteínica de lactosuero dulce y ácido.

Proteína	Función biológica
β -Lactoglobulina	Transportador (retinol, palmitol, ácidos grasos. Vitamina D y colesterol). Aumento de la actividad esterasa pregástrica. Transferencia de inmunidad pasiva. Regulación de la glándula mamaria en el metabolismo del fósforo.
α -Lactoalbúmina	Prevención del cáncer. Síntesis de lactosa. Tratamiento de la enfermedad inducida por el estrés crónico.
Albuminas del suero	Función antimutagénica. Prevención del cáncer. Inmunomodulación.
Inmunoglobulinas	Prevención y tratamiento de diversas infecciones microbianas (infecciones de las vías respiratorias superiores, gastritis, caries dental, diarrea, entre otras).
Lactoferrina	Actividades antibacterianas, antivirales, antifúngicas. Evita varias infecciones microbianas y varios tipos de cáncer. Actividad prebótica.
Lactoperoxidasa	Biosidas y actividades biostáticas. Prevención de cáncer de colon y cáncer de piel.
Glicomacropéptidos	Interacción con toxinas, virus, y bacterias (mediada por la fracción de carbohidratos). Control de la formación de ácido en la placa dental. Actividad inmunomoduladora.
Osteopontina	Mineralización ósea, se utiliza para el tratamiento del cáncer.
Proteasas peptonas	Efectos inmunoestimulantes. Prevención de las caries.

Fuente. (Hernández Rojas & Vélez Ruiz, 2014).

1.1.3 Problemas ambientales ocasionados por el lactosuero.

Aproximadamente 90 % del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero, el cual retiene cerca de 55 % del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales, algunas posibilidades de la utilización de este residuo han sido estudiadas, encontrando que una importante porción de éste es descartada como efluente, el cual crea un serio problema ambiental (Aider et al., 2009) (Silva et al., 2009) debido a que afecta física y químicamente la estructura del suelo, disminuyendo el rendimiento de los cultivos agrícolas y afectando los afluentes reduciendo la vida acuática ya que agota el oxígeno disuelto (Aider et al., 2009).

Debido a sus componentes el lactosuero representa un serio problema de contaminación cuando se vierte en los cursos de agua, generando una demanda biológica de oxígeno (DBO) muy alta, de 40 000 a 60 000 ppm, y una demanda química de oxígeno (DQO) de 50 000 a 80 000 ppm, más del 90 % de esas demandas se deben a la lactosa. Cuando un compuesto con una alta DBO, tal como el lactosuero se vierte a un sistema ecológico acuático, los microorganismos que lo degradan demandan una gran cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

La industria quesera ha sido ampliamente cuestionada por generar impacto negativo ambiental y por caracterizarse por la producción de cantidades importantes de residuos orgánicos e inorgánicos, que presentan características contaminantes.

Si se considera que 0,25 - 0,30 L de suero sin depurar equivalen aproximadamente, a la contaminación de las aguas residuales correspondientes a un habitante/día y que una industria quesera media de cualquier país que produzca diariamente 400 000 L de suero, está estaría produciendo una contaminación diaria similar a una población de 1 250 000 habitantes, debido a esto y a que la eliminación de los lactosueros a los ríos está prohibida moral y legalmente es necesario tener en cuenta su aprovechamiento íntegro o la depuración del mismo.

1.1.4 Principales usos del lactosuero.

El valor nutricional del lactosuero constituye una ventaja si se piensa en su aprovechamiento, considerando su contenido de lactosa fácilmente fermentable, proteínas de excelentes propiedades y su alto valor nutritivo, su riqueza en potasio, calcio, fósforo, sodio, magnesio y en vitaminas del grupo B.

A finales del siglo XX, el lactosuero se empleaba en la elaboración de productos alimenticios tales como bebidas, cremas para untar, mantequilla, concentrado proteínico, lactosa, proteínas en polvo, suero en polvo desmineralizado y queso, entre otros. Del mismo modo se han desarrollado productos de exitosa aceptación debido a sus bajos costos de producción, grado de calidad alimenticia y aceptable sabor, tales como bebidas refrescantes, bebidas fermentadas y alcohólicas, proteína unicelular, biopelículas, producción de ácidos orgánicos, concentrados de proteínas, derivados de lactosa entre otros (Lagua, 2011).

1.2 Etanol.

El etanol o alcohol etílico es el producto químico orgánico sintético más antiguo usado por el hombre, se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C, su fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$, siendo el componente activo esencial de las bebidas alcohólicas, además es una de las materias primas importantes para las síntesis. Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración: la fermentación o descomposición de los azúcares contenidos en distintas frutas y la destilación la cual consiste en la depuración de las bebidas fermentadas.

Presenta activación con algunos solventes y derivados de celulosa y forma azeótropos binarios y ternarios con el agua y los principales acetatos facilitando procesos de impresión y pintado. También es de gran aplicación en la industria por su bajo contenido de humedad y se utiliza como materia prima en procesos de síntesis orgánica e industria química.

Los primeros estudios realizados en la producción de etanol a partir de suero de leche se dieron en los años treinta utilizando levaduras capaces de fermentar la lactosa, las especies más empleadas que pueden fermentar este disacárido son *Kluyveromyces marxianus* (antes *Kluyveromyces fragilis*), *Kluyveromyces lactis* y *Candida kefir* (antes *Candida pseudotropicalis*); generalmente en el proceso se utiliza suero desproteinizado bien sea por termocoagulación o ultrafiltración, la limitación principal de este proceso es la baja concentración de etanol que se obtiene por la intolerancia de algunas cepas (aunque se han encontrado cepas capaces de fermentar la lactosa con alta tolerancia al alcohol) y la baja concentración de lactosa que genera como máximo entre 2 % y 3 % de etanol al final de la fermentación; dentro de las plantas industriales que operan en el ámbito mundial se encuentra la Carbery en Irlanda, que procesa 600 000 L de suero sin concentrar con 4,5 % de lactosa, obteniendo un

caldo que en promedio contiene 2, 8 % de etanol, el cual se destila para obtener 22 000 L por día de etanol potable; el etanol obtenido por fermentación de lactosuero se emplea en la elaboración de bebidas alcohólicas del tipo cerveza y vinos

1.2.1 Propiedades físico químicas

El alcohol etílico cuenta con varias características, por ejemplo:

- Grado alcoholimétrico: 96° min
- Aspecto: Líquido transparente e incoloro.
- Olor: Característico alcohólico
- pH: neutro
- Punto de inflamación: 14°C
- Punto de ebullición: 78, 3°C
- Punto de fusión: -114°C
- Temperatura de auto ignición: 365°
- Límites de explosión (inferior/superior): 3, 3 / 19 v/v. %
- Presión de vapor: (20°C) 59, 2 mbar
- Densidad (20°C): 0, 806 g/l
- Solubilidad: Miscible con agua
- Solubilidad: Miscible totalmente con agua
- Información relativa al transporte:
- Terrestre (ADR/RID): -----
- Denominación técnica: ETANOL
- ONU 1170 Clase: 3 Grupo de embalaje: II

1.2.3 Características físico-químicas

- Hidrocarburo Alifático.
- Fórmula Química: C₂H₅OH.
- Diluyente Universal.
- Líquido Inflamable.
- Incoloro.
- Olor etéreo.
- Sabor acre.
- Soluble en agua, Cloroformo y Alcohol Metílico.

Tanto el alcohol etílico como el isopropílico se venden como antisépticos y son inflamables. De lo contrario, las formas varían en gran medida. El alcohol etílico se considera alcohol "puro", incluso cuando se mezcla con agua y otros ingredientes. El alcohol etílico se puede comprar en una forma pura, llamado alcohol de grano. Este es

desnaturalizado y se vende como un decapante de pintura, limpiador fuerte o bajo otras formas industriales no comestibles. El alcohol isopropílico se vende en una mezcla diluida de 72 % o para ser menos duro como un tratamiento tópico y en 99 % para el uso como alcohol antiséptico o agente inflamable. No hay una forma comestible de alcohol isopropílico

1.2.4 Aplicaciones y usos del alcohol etílico

Además de usarse con fines culinarios (bebida alcohólica), el etanol se utiliza ampliamente en muchos sectores industriales y en el sector farmacéutico, como excipiente de algunos medicamentos y cosméticos (es el caso del alcohol antiséptico 70 °GL y en la elaboración de ambientadores y perfumes).

Es un buen disolvente, y puede utilizarse como anticongelante. También es un desinfectante. Su mayor potencial bactericida se obtiene a una concentración de aproximadamente el 70 %.

La industria química lo utiliza como compuesto de partida en la síntesis de diversos productos, como el acetato de etilo (un disolvente para pegamentos, pinturas, etc.), éter dietílico, etc. También se aprovechan sus propiedades desinfectantes.

Se emplea como combustible industrial y doméstico. Este además contiene compuestos como la pirovidos exclusivamente a alcohol. Esta última aplicación se extiende también cada vez más en otros países para cumplir con el protocolo de Kyoto. Estudios del Departamento de Energía de EUA dicen que el uso en automóviles reduce la producción de gases de invernadero en un 85 %. Cita requerida en países como México existe la política del ejecutivo federal de apoyar los proyectos para la producción integral de etanol y reducir la importación de gasolinas que ya alcanza el 60 %.

Como se ha mencionado dentro de los usos del alcohol etílico el más difundido es el de la elaboración de bebidas alcohólicas uno de los más conocidos, sin embargo, al etanol también se lo emplea en la industria como un compuesto de partida para la sintetización de diferentes productos como el acetato de etilo (disolvente de pinturas) y en áreas como la farmacéutica y de cosmética, siendo la desinfección y la participación en la fabricación de ambientadores y perfumes, respectivamente, las más importantes.

Respecto de su uso en exceso es importante mencionar que el etanol puede afectar severamente el sistema nervioso central generando: estados de euforia, mareos, desinhibición, ilusiones, confusión, somnolencia, aminora los reflejos, la coordinación de

los movimientos, pérdida temporal de la visión, aumento de la violencia y en los casos más graves puede transportar a un estado coma y luego, acto seguido a la muerte (Arteaga, 2016).

1.2.5 Grado alcohólico.

Es el volumen de alcohol, expresado en centímetros cúbicos, contenido en 100 cm³ de bebida alcohólica, a una temperatura determinada sus unidades se expresan como °GL ó % Vol. que es el grado de una mezcla hidroalcohólica pura, indicado por el alcoholímetro centesimal de Gay Lussac en una temperatura diferente a la de referencia. La lectura de un grado aparente debe darse siempre indicando la temperatura a la cual dicha lectura fue tomada. También se considera grado aparente la lectura alcoholimétrica de una mezcla que no sea pura, debido a la adición de sustancia que altera la densidad de la mezcla. En este caso, para determinar el grado alcohólico real, debe someterse a un proceso de destilación, hasta obtener una mezcla hidroalcohólica pura (Vargas Marín, 2017).

1.2.6 Obtención de etanol a partir de lactosuero

La leche por regla general sufre una fermentación láctica (la mayoría de los productos lácteos) que produce algunas bebidas alcohólicas. El proceso es alimentado por la lactosa (azúcar natural de la leche) y por la enzima lactasa que segregan algunas levaduras específicas. La fermentación láctica y etílica es muy sensible a la temperatura y suele denominarse fermentación heterolecita. Entre las bebidas lácteas que han sufrido una fermentación etílica se encuentra una bebida denominada koumiss, que se elabora mediante la adición de sacarosa (caña de azúcar), a la leche pasteurizada y suele proporcionar bebidas de bajo contenido alcohólico, oscila entre un 1 a 3 %, el micro organismo responsable de este proceso es el lactobacillus bulgaricus. Se denomina a veces como: “vino de leche” y posee un aspecto grisáceo. En estas bebidas lácteas la fermentación láctica se produce al mismo tiempo que la alcohólica, cooperando ambas en un complejo proceso interrelacionado. Otras de las bebidas es el Kéfir, que contiene una cierta cantidad de etanol, que puede oscilar entre un 0,040 a 0,3%, su bajo contenido se debe a los relativamente altos niveles de pH que paran el proceso fermentativo alcohólico.

1.3 Método Multicriterio

El Análisis Multicriterio es una herramienta aplicable para la evaluación de impacto ambiental y social actualizada y mejora el uso de los métodos clásicos, con la ventaja de que permite manejar simultáneamente información cualitativa y cuantitativa. Se utiliza

para emitir un juicio comparativo entre proyectos o medidas heterogéneas y en el ámbito de evaluación, el análisis multicriterio se emplea en las definiciones de operaciones de intervención.

1.3.1 Método Delphi. Generalidades

La técnica Delphi es un método de estructuración de un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. Un Delphi consiste en la selección de un grupo de expertos a los que se les pregunta su opinión sobre cuestiones referidas a acontecimientos del futuro. Las estimaciones de los expertos se realizan en sucesivas rondas, anónimas, al objeto de tratar de conseguir consenso, pero con la máxima autonomía por parte de los participantes. Su objetivo es la consecución de un consenso basado en la discusión entre expertos. Es un proceso repetitivo. Su funcionamiento se basa en la elaboración de un cuestionario que ha de ser contestado por los expertos. Una vez recibida la información, se vuelve a realizar otro cuestionario basado en el anterior para ser contestado de nuevo. Finalmente, el responsable del estudio elaborará sus conclusiones a partir de la explotación estadística de los datos obtenidos.

El Método Delphi de acuerdo con está considerado como el método heurístico más efectivo y de mayor utilización para la toma de decisiones. Este método tiene como características fundamentales:

- Existencia de un facilitador cuya función es similar a la del Método Brainstorming.
- Se establece un diálogo anónimo entre los expertos consultados individualmente, mediante cuestionarios o encuestas.
- La confrontación de opiniones se lleva a cabo mediante varias rondas.
- Los resultados de cada ronda se procesan estadísticamente.
- Existe retroalimentación entre los expertos mediante los resultados del cuestionario precedente, permitiendo al experto modificar sus respuestas primarias en función de los elementos de juicio aportados por los otros expertos.
- El número de rondas para la aplicación de la encuesta se determina por la evolución de las curvas de distribución de las respuestas, hasta llegar a una convergencia de las opiniones, eliminando los valores más dispersos.

Para la aplicación del método existe un procedimiento general que está compuesto por una serie de pasos lógicos: el primero es la concepción inicial del problema donde se definen

los elementos básicos del trabajo, el objetivo a alcanzar, la situación actual y los componentes o elementos necesarios para llevar a cabo el trabajo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En el capítulo 2 se desarrolla la metodología utilizada para darle solución al problema de investigación y a los objetivos propuestos mediante el método de Delphi y cómo se realizará la evaluación técnico económica de la propuesta tecnológica seleccionada por los expertos.

2.1 Materiales y Métodos. Diagrama heurístico

La **figura 2.1** nos muestra el diagrama heurístico, el cual recoge toda la metodología utilizada para darle solución a la investigación.

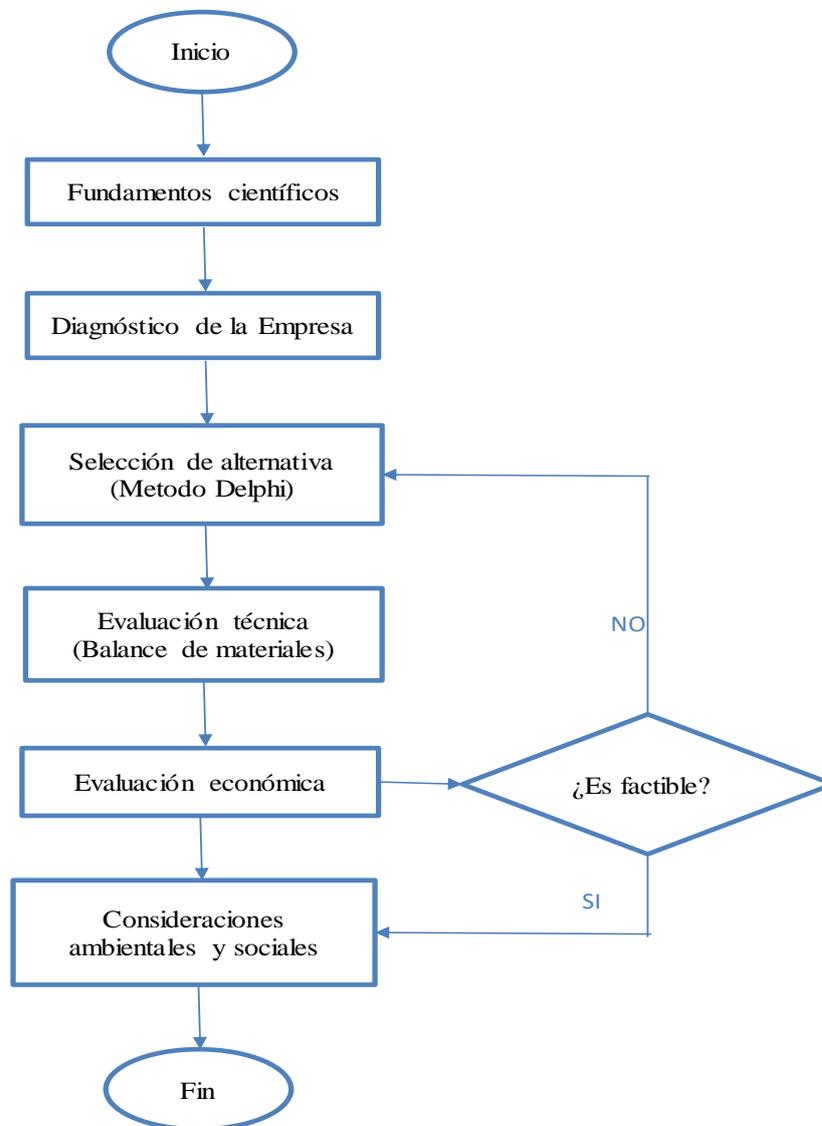


Figura 2.1 Diagrama heurístico. Elaboración propia.

2.2 Características generales de la empresa.

La Empresa de Productos Lácteos Escambray anteriormente llamada y aún conocida como Combinado Lácteo "Escambray", se encuentra ubicada en el Municipio de Cumanayagua, perteneciente a la provincia de Cienfuegos. Esta Empresa fue creada por la Resolución No. 340-76 del 15 de diciembre de 1976 emitida por el Ministro de la Industria Alimenticia, aunque anteriormente estaba estructurada y funcionaba desde el año 1975.

Su construcción comenzó por la Fábrica de Quesos en el año 1973, teniendo en cuenta los factores favorables existentes en esta zona geográfica y las perspectivas de amplio desarrollo concebidas para los planes lecheros circundantes de El Tablón, El Abra, Breñas y La Sierrita.

Posteriormente y por la decisión del Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, a finales del mismo año, dada la ubicación de los equipos tecnológicos, se concibe la construcción de la Fábrica de Helados, que inicialmente se planificara su construcción en Santa Clara. Ya en el año 1989 se concluye la construcción y montaje de la Planta Pasteurizadora perteneciente a esta entidad. Su estructura organizativa se basa fundamentalmente por un director general y varias UEB entre ellas las del queso, helado y producción de leche y derivados de la soya.

2.2.1 Misión

La Misión de la Empresa de Productos Lácteos Escambray es elaborar productos Lácteos, derivados de la Soya, de un alto nivel nutricional, que garanticen la canasta básica, consumo social, así como productos para la venta en divisa con una calidad acorde a las exigencias del mercado actual, aprovechando la ubicación en el centro sur del país, lo cual facilita estabilidad y competitividad en el mercado.

2.2.2 Visión

- La Empresa de Productos Lácteos Escambray está en perfeccionamiento empresarial.
- Realiza producciones de derivados lácteos competitivos, redituables, con tecnología homologada a la media internacional.
- Obtiene utilidades razonables para su patrimonio y el estatal.
- Sus producciones satisfacen los requerimientos de los clientes del mercado nacional con un incremento progresivo de las ventas.

- Existe un clima personal y organizacional favorable con predominio de la cooperación mutua en función del interés general de la entidad.
- Dirigen la empresa Cuadros con liderazgos, muy capaces, altamente motivados y con un elevado nivel de gestión.
- Existe una Estrategia Ambiental la que permite y garantiza su inserción en el micro-macro-entorno.

2.2.3 Situación geográfica

La Empresa se encuentra localizada en la Zona Industrial Km. 1 en el ya mencionado Municipio de Cumanayagua y sus fábricas se encuentran ubicadas en la misma dirección, así como sus unidades de aseguramiento y apoyo.

2.3 Propuesta de productos

Se consultaron varias bibliografías como (Proaño & Armas, 2011), (Capdevila, Kafarov, Gely, & Pagano, 2015), (Alcocer, 2017), (Shuilema, 2022) para poder obtener un producto derivado del lactosuero. Para corroborar que esta propuesta es factible se sometieron 6 productos, con alto uso en la vida cotidiana, los cuales se muestran en la **tabla 2.1**.

Tabla 2.1 Propuesta de alternativas para utilizar el lactosuero como materia prima.

#	Productos propuestos
1	Bebidas alcohólicas
2	Jabón líquido
3	Helado
4	Generación de energías renovables
5	Yogurt
6	Etanol

Elaboración propia.

2.4 Análisis y selección de alternativas

Para la selección del producto idóneo para la producción en la empresa se aplicó el método de Criterio de Expertos.

La técnica de criterio de expertos permite ordenar criterios o factores a partir de la votación de los expertos. Tiene los siguientes pasos:

1. Selección del número de expertos.
2. Elaboración de la matriz de rangos con los criterios de expertos.
3. Determinar el nivel de concordancia.
4. Realizar la validación del criterio de expertos.

2.4.1 Selección del número de expertos

Uno de los problemas principales es decidir quiénes son los expertos o conocedores del tema a analizar. Los expertos pueden ser especialistas internos o externos. Se entiende por experto tanto al individuo u organización, con un elevado nivel de calificación en una esfera, capaz de ofrecer valoraciones conclusivas de un problema en cuestión con un máximo de competencia (Hurtado, 2015).

Para este análisis se utiliza la metodología elaborada por el Comité Estatal para la Ciencia y la Técnica de Rusia, elaborado en 1971, para la determinación de la competencia de los expertos, el cual puede componerse en 9 pasos:

1. Confeccionar un listado inicial de personas posibles de cumplir los requisitos para ser expertos en la materia a trabajar previamente consultada su disposición para participar. Se entrevistaron un total de 15 expertos.

2. Realizar una valoración sobre el nivel de experiencia que poseen, evaluando de esta forma los niveles de conocimientos que poseen sobre la materia. Se les realiza una primera encuesta para una autoevaluación de los niveles de información y argumentación que tienen sobre el tema en cuestión.

3. Calcular el Coeficiente de Conocimiento o Información (K_c), a través de la siguiente fórmula:

$$K_c = n(0,1) = \frac{n}{10} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

K_c : Coeficiente de Conocimiento o Información

n: Rango seleccionado por el experto

4. Se realiza una segunda pregunta que permite valorar un grupo de aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar.

5. Se determinan los aspectos de mayor influencia y partir de estos valores reflejados por cada experto en la tabla se contrastan con los valores de una tabla patrón mostrada en la **tabla 2.2**.

Tabla 2.2 Tabla Patrón. Escala para la determinación del coeficiente de argumentación.

No.	Fuentes de argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes de argumentación		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis realizados por usted	0,3	0,2	0,1
2	Experiencia adquirida	0,5	0,4	0,2
3	Trabajos de autores nacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
4	Trabajos de autores internacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
5	Conocimiento propio sobre el estado del tema	0,05	0,05	0,05
6	Su intuición	0,05	0,05	0,05

6. Los aspectos que influyen sobre el nivel de argumentación o fundamentación del tema a estudiar permiten calcular el Coeficiente de Argumentación (K_a) de cada experto:

$$K_a = \sum n_i = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6) \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

K_a : Coeficiente de Argumentación

n_i : Valor correspondiente a la fuente de argumentación i (1 hasta 6)

7. Una vez obtenido los valores del Coeficiente de Conocimiento (K_c) y el Coeficiente de Argumentación (K_a) se procede a obtener el valor del Coeficiente de Competencia (K) que finalmente es el coeficiente que determina en realidad que experto se toma en consideración para trabajar en esta investigación. Este coeficiente (K) se calcula de la siguiente forma:

$$K = \frac{1}{2}(K_c + K_a) \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

Donde:

K : Coeficiente de Competencia

K_c : Coeficiente de Conocimiento

K_a : Coeficiente de Argumentación

Posteriormente se analizan los resultados, determinando la competencia del candidato, la cual se estima en alta si $K \geq 0,8$, media si $0,5 \leq K < 0,8$ y baja si $K < 0,5$.

El investigador debe utilizar para su consulta a expertos de competencia alta, no obstante, puede valorar si utiliza expertos de competencia media en caso de que el coeficiente de competencia promedio de todos los posibles expertos sea alto, pero nunca se utilizará expertos de competencia baja.

8. Cálculo de expertos (Francisco Martín, López Bastida, Castellanos Álvarez, & Gil Fundora, 2006).

$$M = \frac{p \times (1-p) k}{i^2} \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde:

M: Número de expertos

p: Proporción estimada del error

i: Nivel de precisión alcanzado, se recomienda entre 0,14 y 0,5

k: Constante que depende del nivel de confianza $(1-\alpha)$ seleccionado (**Tabla 2.3**)

TABLA 2.3 VALORES DE K.

1- α	K
99 %	6,6564
95 %	3,8416
90 %	2,6896

Tomando como base para el cálculo un error del 10 %, para un nivel de confianza del 95 % y el valor de i medio de 0,2 entonces:

$$M = \frac{0,1 \times (1-0,1) 3,8416}{0,2^2} = 8,6436 \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Es decir, que se requieren de 9 expertos para realizar el análisis experimental.

9. Una vez seleccionado los expertos se les envía una carta a todos, invitándolos a participar en el peritaje. En ella se le explicará el objetivo de la realización de la encuesta, el plazo y orden de ejecución, así como el volumen total del trabajo. Además, se le informará su inclusión en el peritaje y las instrucciones necesarias para contestar las preguntas.

2.4.2 Análisis de valoración de aspectos (Método Delphi)

Después de seleccionado el grupo de expertos podemos aplicar el método Delphi para el procesamiento de sus criterios y opiniones. Este proceso nos permite consultar un conjunto de expertos para validar nuestra propuesta sustentada en sus conocimientos, investigaciones, experiencia, estudios bibliográficos, etc.

No existe una estructura rígida para aplicar el método Delphi, pero es usual que se siga una determinada secuencia. Su uso en general requiere una considerable flexibilidad para satisfacer las necesidades de la situación, un análisis comparativo de la introducción y la expansión del nuevo producto, basando la comprobación en patrones de similitud (Ramos Miranda & García Prado, 2011a).

La secuencia establecida es la siguiente:

1. Se envía un cuestionario a los expertos y se les pide que den su opinión en los temas de interés.
2. Se analizan las respuestas y se identifican las áreas en que están de acuerdo y en las que difieren.
3. Se manda un análisis resumido de todas las respuestas a los expertos, se les pide que llenen de nuevo el cuestionario y den sus razones respecto a las opiniones en que difieren.
4. Se repite el proceso hasta que se estabilizan las respuestas.

Se les presentan a los expertos los temas, aspectos o cuestiones a valorar previamente determinados por el investigador, a través de una tabla de Aspectos / Rangos de Valoración (1 al 10), donde al aspecto de mayor calidad se le concede 1 punto y al de menor 10. Esta matriz se presenta en la **Tabla 2.4** a partir de los resultados obtenidos por la encuesta a cada experto.

Tabla 2.4 Matriz de rangos de los criterios de expertos para la selección del producto a fabricar.

Productos	Expertos
Bebidas alcohólicas	
Jabón líquido	
Helado	
Generación de energías renovables	
Yogurt	
Etanol	

Estos valores se envían a los expertos donde se encuentran los criterios emitidos y se les solicita su opinión. Si hay variación respecto a lo que plantearon inicialmente, se vuelven a procesar los nuevos rangos de valoración con el mismo procedimiento y se consultan las veces que sea necesario hasta que no haya más modificaciones en los criterios. Se realizan cuantas vueltas sean necesarias hasta que los expertos decidan no variar más su opinión (Francisco Martín et al., 2006).

2.4.3 Análisis de la concordancia en la valoración de aspectos (coeficiente Kendall)

Después de obtener una proposición final en la consulta a los expertos necesitamos demostrar su confiabilidad, debemos probar el nivel de acuerdo entre los expertos para otorgar mayor autenticidad a nuestro estudio, es preciso comprobar el grado de coincidencia de las valoraciones realizadas por los expertos. Para ello podemos utilizar el modelo de la prueba estadística Coeficiente de Concordancia de Kendall (ω), que nos ayuda a comprobar el grado de coincidencia de las valoraciones realizadas por los expertos.

2.4.3.1 Elaboración de la matriz de rangos con los criterios de los expertos a partir de la recolección de la información obtenida de las opiniones de cada experto

Una vez seleccionada la matriz de rangos de los criterios de expertos obtenida por el Método Delphi se realizan los cálculos de los indicadores, para así obtener el nivel de concordancia (ω) entre los expertos. Con este análisis se construye una tabla en Microsoft Excel donde se muestra el diseño del método propuesto por Ramos Miranda and García Prado (2011a) y aplicado a la investigación para facilitar el procedimiento.

El valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos se determina por el Coeficiente de Concordancia de Kendall (ω), el cual se calcula por la siguiente ecuación.

$$\omega = 12 \sum \frac{\Delta^2}{M^2} (K^3 - K) \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

M: es el número de expertos

K: es el número de requisitos a evaluar.

Δ : es la desviación del valor del medio.

$$\Delta = \sum A_{ij} - T$$

Donde:

A_{ij} : es el juicio de importancia del experto i sobre el requisito j .

T = factor de comparación (valor medio de los rangos).

$$T = \frac{1}{2} M (K + 1)$$

El valor ω oscila entre 0 y 1. El valor de 1 significa una concordancia de acuerdos total y el valor de 0 un desacuerdo total. Obviamente la tendencia a 1 es lo deseado pudiéndose realizar nuevas rondas si en la primera no es alcanzada significación en la concordancia. Para valores mayores de 0,7 se debe aceptar la decisión, para valores entre 0,45 y 0,7 se debe continuar el análisis y para valores menores de 0,45 se deben rechazar las decisiones de los expertos.

2.4.4 Validación del criterio de expertos

Para dar validación al criterio de los expertos en el procedimiento antes descrito se realiza una prueba de hipótesis donde:

$$H_0: \omega = 0$$

Para muestras grandes donde $k > 7$ y se utiliza el criterio de si x^2 calculado $>$ x^2 tabulado, α , y $f = K-1$ se rechaza la hipótesis nula.

$$x^2 \text{ calculado} = m(K - 1)\omega \quad (\text{Ecuación 2.7})$$

Por tanto, si se cumple esta condición quiere decir que hay concordancia significativa entre los expertos y se valida sus criterios (Francisco Martín et al., 2006).

2.5 Balance de materiales

A continuación, se plantea el balance de masa correspondientes a dicho proceso, para lo cual se presenta la **figura 2**, que representa el diagrama de bloque del proceso tecnológico.

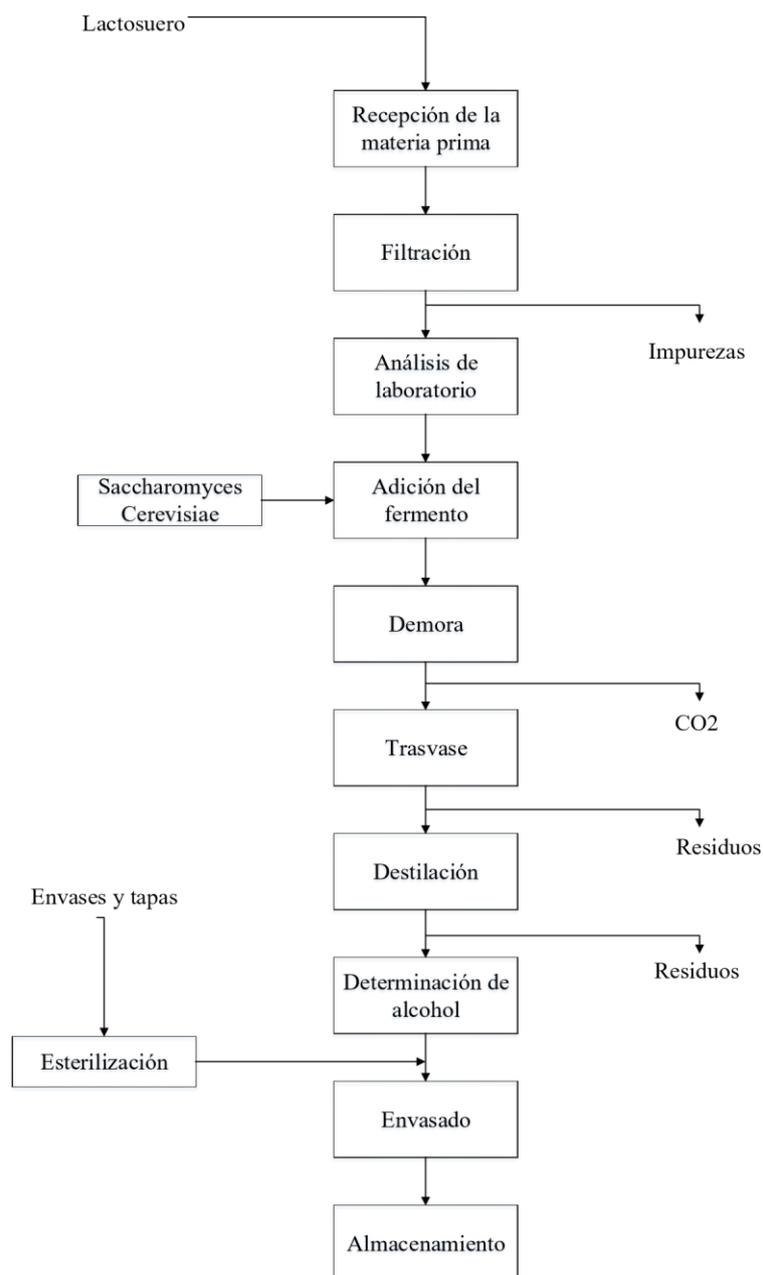


Figura 2 Diagrama de bloques. Fuente. (López, 2022)

2.6 Análisis técnico-económico

Para realizar la estimación de costo de un proyecto hay que tener en cuenta el costo total de inversión, que incluye costo del equipamiento, costo de la ingeniería, costo de materiales, entre otros indicadores que serán calculados por la metodología propuesta por Peters and Timmerhaus (1991).

2.6.1 Costo total del equipamiento (CTE)

El costo del equipamiento (EC) es la suma de los costos de equipo de los componentes.

2.6.2 Costo total de inversión (CTI)

Para determinar el costo total de inversión se utiliza la metodología propuesta por (Peters & Timmerhaus, 1991), por lo que los costos directos e indirectos, así como el capital fijo invertido se calcularán utilizando como base la Tabla 17 de este libro. Para determinar los porcentajes que se utilizan en este procedimiento se debe tener en cuenta que el cálculo se realiza para un circuito o sistema que está incluido dentro de una unidad de proceso, no para una planta completa, por lo que muchos de los aspectos que se tienen en cuenta en esta metodología para el presente caso de estudio son adaptados a las condiciones reales.

2.6.3 Análisis económico para la tecnología utilizada

Después de calculado el costo total de la inversión se calcula el costo de producción, la depreciación y la ganancia para poder determinar el valor actual neto, la tasa interna de retorno y el período de recuperación de la inversión.

2.6.4 Costo total de producción

Para estimar el costo total de producción se utilizan los factores de proporción y las ecuaciones que se encuentran en la Tabla 27 del libro Peters and Timmerhaus (1991).

$$CTP = \text{Costo de fabricación (CF)} + \text{Gastos Generales (GG)}$$

$$CF = \text{Costos directos (CD)} + \text{Costos indirectos (CI)}$$

$$GG = \text{Distribución y venta (DV)} + \text{Administración (A)} + \text{Investig. y Des. (ID)}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{CFI - VR}{vd}$$

2.6.5 Valor actual neto (VAN)

El valor del dinero en el tiempo significa que un determinado capital que se tiene en la actualidad va incrementando su valor en el futuro a determinada tasa de interés fijada (Branan, 2000). Entonces, la evaluación del valor del dinero varía a través del tiempo según la siguiente expresión:

$$F = P * (1 + r)^i \quad \text{(Ecuación 2.8)}$$

donde:

F- Valor futuro de una cantidad presente (P) de dinero, \$.

r - Tasa de interés fijada, fracción.

i - Año para el cual se desea determinar el valor futuro de la cantidad presente.

El proceso de actualización a valor presente se realiza por la ecuación:

$$P = \frac{F}{(1+D)^i}$$

donde D es la tasa de descuento en fracción. La expresión por la que la suma futura es multiplicada se conoce como “factor de descuento”

$$\text{Factor de descuento} = \frac{1}{(1+D)^i}$$

Entonces el valor actual neto (VAN) es el valor de los flujos de caja proyectados para todos los años durante el período de evaluación del proyecto, siendo positivo si el saldo entre beneficios y gastos es favorable, y negativo en caso contrario. Visto así:

$$VAN = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{Ci}}{(1+D)^i} \quad (\text{Ecuación 2.9})$$

donde K_0 es la inversión inicial, F_{Ci} es el flujo de caja en el año i y D es la tasa de descuento real utilizada.

2.6.6 Tasa interna de retorno (TIR)

Se define como aquella tasa de descuento que reduce a cero el Valor Actual Neto. La TIR representa el porcentaje o tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión, de forma tal que, al finalizar el período de evaluación o vida útil, el saldo no recuperado sea igual a cero. Analíticamente la TIR se determina como:

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_{Ci}}{(1+TRI)^i}$$

Como se puede observar en la ecuación 2.23, su solución requiere de un análisis iterativo. El análisis de la inversión se hace teniendo en cuenta dos factores: primero, debe ser tal su ganancia, que compense los efectos inflacionarios, y, en segundo término, debe poseer un premio o sobretasa por arriesgar el dinero en determinada inversión. Entonces, para esto se valora la tasa mínima aceptable de retorno (TMAR).

Se define TMAR como:

$$TMAR = i + f + i * f \quad (\text{Ecuación 2.10})$$

donde i es la inflación y f es el premio del riesgo.

Como puede observarse en la ecuación 2.22 el valor del VAN es inversamente proporcional al valor de D de modo que, si la tasa mínima aceptable de retorno es muy alta, el VAN puede volverse negativo, y en ese caso se rechazaría la inversión (Silla,

2003). Si el $TIR > TMAR$, se acepta la inversión. El criterio de aceptación de evaluación se analizará de la siguiente forma: si $VAN \geq 0$, acéptese el proyecto; si $VAN < 0$, rechácese.

2.6.7 Período de recuperación de la inversión (PRI)

El Periodo de Recuperación de la Inversión se considera como indicador que mide tanto la liquidez del proyecto como el riesgo relativo, pues permite anticipar los eventos en el corto plazo (Towler & R., 2009; Vaquiro C., 2010).

Es importante anotar que este indicador es un instrumento financiero que, al igual que el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno, permite optimizar el proceso de toma de decisiones.

El PRI es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. Es el tiempo en que se recupera la inversión inicial para una tasa de descuento D considerada. Se calcula como el momento para el cual el VPN se hace cero.

$$0 = -K_0 + \sum_{i=1}^{PRI} * \frac{FC_i}{(1+D)^i}$$

Para obtener el valor del PRI, a la inversión inicial se le van adicionando gradualmente los flujos de caja anuales hasta que el resultado sea cero, en ese momento se ha recuperado la inversión. El VAN, TIR y PRI pueden ser calculados mediante técnicas computarizadas, como el EXCEL.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En este capítulo se darán a conocer los resultados obtenidos de la metodología planteada en el capítulo 2. Se conocerá la alternativa seleccionada por los expertos, se realizará un balance de materiales y se determinará el costo de producción de la misma, así como su factibilidad.

3.1 Valoración de aspectos (Método Delphi)

Luego de entrevistas con los expertos seleccionados se determinaron los criterios a ser usados en la evaluación del producto con valor agregado a obtener, los cuales se observan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Matriz de los expertos para la selección del producto a obtener.

Productos		Experto								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Producción de bebidas alcohólicas a partir de lactosuero.	4	3	5	5	2	2	2	2	5
2	Elaboración de jabón líquido a partir de suero de leche	5	5	7	5	5	4	5	7	3
3	Fabricación de helado	6	4	7	4	6	5	7	7	4
4	Generación de energía renovable a partir de lactosuero	3	2	7	2	7	4	5	6	6
5	Elaboración de yogur a partir de suero de leche	6	3	4	3	5	3	4	3	6
6	Obtención de etanol a partir de lactosuero	1	2	1	1	1	1	1	1	2

Como se muestra se le concede 10 puntos al aspecto de menor beneficio y así en orden decreciente hasta 1 al punto de mayor beneficio, por lo que se puede ver que la obtención de etanol a partir de lactosuero es la alternativa con mayor beneficio.

A continuación en la tabla 3.2 se muestra el diseño propuesto por (Ramos Miranda & García Prado, 2011b) aplicado a la investigación con 9 expertos y 6 alternativas de productos.

Tabla 3.2. Matriz del Método Delphi.

Productos		Experto									Cálculo de indicadores				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	ζ	Δ	Δ^2	ω
		$M(K+1)/2$	$\Sigma A_{ij} - \zeta$	$(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^2-K)$											
1	Producción de bebidas alcohólicas a partir de lactosuero.	4	3	5	5	2	2	2	2	5	30		-2	2	
2	Elaboración de jabón líquido a partir de suero de leche	5	5	7	5	5	4	5	7	3	46		15	210	
3	Fabricación de helado	6	4	7	4	6	5	7	7	4	50		19	342	
4	Generación de energía renovable a partir de lactosuero	3	2	7	2	7	4	5	6	6	42		11	110	
5	Elaboración de yogur a partir de suero de leche	6	3	4	3	5	3	4	3	6	37		6	30	
6	Obtención de etanol a partir de lactosuero	1	2	1	1	1	1	1	1	2	11		-21	420	
											216	31.5		1116	0.79

En ella se describe el resultado del método aplicado. Donde se muestra la opinión de los expertos para cada producto analizado y se muestra que la obtención de etanol es el producto con valor agregado que consideran es el que mayor beneficio va a reportarle a la empresa. También se calculó la concordancia entre los expertos (ω) obteniéndose un valor de 0,79; como $\omega > 0,7$ se acepta la decisión de los expertos.

Para validar el criterio de los expertos se realizó una prueba de hipótesis (Tabla 3.3) para muestras grandes, concluyéndose que x^2 calculado $>$ x^2 tabulado ($35,4 > 21,7$) rechazándose la hipótesis nula y se concluye que hay concordancia significativa entre los expertos por lo que se valida su razonamiento.

Tabla 3.3. Prueba de Hipótesis.

Prueba de hipótesis		
número de alternativas	K	6
número de expertos	M	9
chi cuadrado calculado, x^2 calculado	$M(K-1)\omega$	35.4
chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado	$X^2(0,01,19)$	21.7

3.2 Balance de materiales

Una vez seleccionada por los expertos la alternativa correspondiente a la obtención de etanol, se realiza el diagrama del proceso, cuya propuesta fue realizada por (López, 2022) y se puede observar en la figura 2.

Para poder obtener un resultado acorde a los objetivos planteados en la investigación se realizó una revisión bibliográfica que nos permitió obtener la cantidad de etanol resultante de la fermentación de lactosuero con *Saccharomyces Cerevisiae* y del proceso de destilación del mismo. Los resultados se obtuvieron de (Rivas & Arroliga, 2015). En la figura se muestra el diagrama de bloque resultante del balance de materiales.

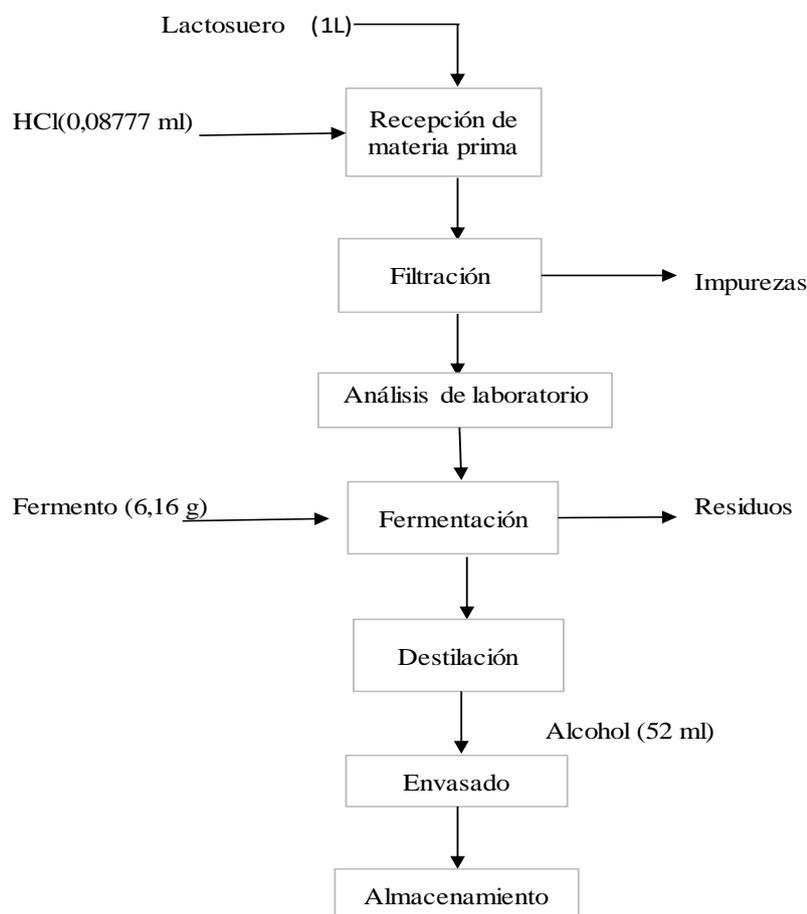


Figura 3. Balance de materiales

Como se puede observar se toma como base de cálculo 1L de lactosuero que entra al proceso. En la etapa de recepción de materia prima se añade HCl para disminuir el contenido de lactosa y para que quede hidrolizada.

El lactosuero analizado contiene 0,84 g lactosa/l de lactosuero. El HCl es añadido a razón de 3,0289g/kg de lactosa. De esta manera se realizó el balance de materiales en dicha etapa.

En el caso de la fermentación se añade 6,16 g / L de lactosuero. Cabe destacar que es importante continuar el estudio acerca de las características fisicoquímicas del lactosuero

de la Empresa de Productos Lácteos Escambray, para poder determinar con exactitud las cantidades de fermento y productos químicos que deben ser añadidos al proceso.

En el análisis realizado se obtiene aproximadamente 50 ml de etanol por cada litro de lactosuero alimentado al proceso.

3.3 Análisis técnico-económico

Para el análisis económico se toma como base de cálculo el USD (United State Dollar).

3.3.1 Costo total de la inversión

Para realizar el costo total de la inversión se calcularon los costos directos e indirectos, así como el capital fijo invertido, se puede observar en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Costo total de inversión (CTI)

Costo Directo (CD)	Valor \$
<i>Costo Equipos (CE)</i>	16085.8
<i>Costo Tub. y accesorios</i>	4986.598
<i>Instrument. y control (IC)</i>	4182.31
<i>Instalación Eléctrica (IE)</i>	1608.580
<i>Costo Edificación</i>	4664.882
<i>Serv. y facilidades (SF)</i>	8847.19
Total Costo Directo (CD)	40375.36
Costo Indirecto (CI)	Valor
<i>Ing. y Supervisión</i>	4037.54
<i>Gastos de Contratación</i>	2826.28
<i>Contingencias</i>	3633.78
Total Costo Indirecto(CI)	10497.59
<i>Capital Fijo de Inversión</i>	50872.95
<i>Inversión de trabajo</i>	12064.35
Costo Total de Inversión	3927505.95

3.3.2 Costo total de producción

Para establecer los costos de producción se tomaron en cuenta diferentes factores reflejados en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Costos de producción

Costo Fabricación	Valor \$/año
<i>Costo Directo Producción (CDP)</i>	
<i>Materias Primas (MP)</i>	0

<i>Utilidades (U)</i>	5000
<i>Mano de obra (MO)</i>	15000
<i>Supervisión (S)</i>	2000
<i>Mantenimiento (M)</i>	10000
<i>Suministro (Su)</i>	2543,65
<i>Gastos de laborat. (GL)</i>	1500
Total CDP	36043,65
Cargos Fijos (FC)	
<i>Depreciación (D)</i>	62510
<i>-Seguros ,Impuestos (SI)</i>	2000
Total FC	64510
Gastos Generales (GG)	Valor \$/año
<i>Distribución</i>	720.8729511
<i>Desarrollo e Invest.</i>	1802
<i>Financiación</i>	15000
Total GG	17523,05
Costo Total de Producción	118076,7

3.3.3 Indicadores dinámicos de rentabilidad

La determinación de los indicadores dinámicos de rentabilidad: VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa de Rendimiento Interna) y PRI (Período de recuperación de la inversión) se realiza para valorar económicamente la inversión de la planta (tabla 3.8). El cálculo de estos indicadores se puede desarrollar con la ayuda de Microsoft Excel, en el cual se programan los datos previos para calcular el VAN y la TIR, determinándose estos con la ayuda de funciones financieras. Se toma una tasa de interés de un 10 %.

Tabla 3.6 Indicadores dinámicos de rentabilidad: VAN, TIR y PRI

Valor actual neto	\$ 3 224 962,58
Tasa Interna de Rendimiento	45 %
Período de Recuperación de la Inversión	2,3 años

Los criterios de aceptación de la evaluación económica son: si $VAN \geq 0$, se acepta el proyecto; si $VAN < 0$, se rechaza. Aproximadamente una TIR alrededor de 35 % sería más que correcta. Por tanto, se puede corroborar que la inversión es viable puesto que se cumplen los criterios mencionados anteriormente.

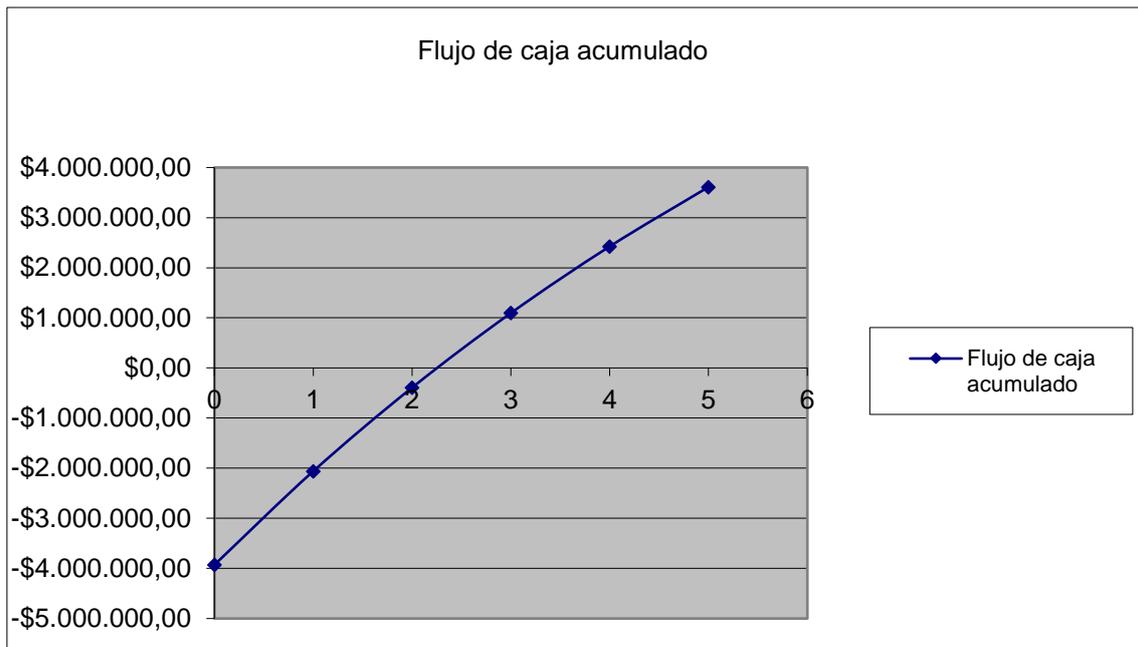


Figura 4. Período de recuperación de la inversión.

3.4 Consideraciones ambientales y sociales.

Existe un grupo de factores que intervienen a causa de la instalación de la propuesta planteada, los cuales se toman en cuenta y se valoran a partir de las diferentes consideraciones que se exponen a continuación:

3.4.1 Consideraciones ambientales

- Cada 1 000 litros de lactosuero generan cerca de 35 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y cerca de 68 kg. de demanda química de oxígeno (DQO), por lo tanto, la utilización de este residual en un nuevo proceso disminuiría este fenómeno.
- Aumentaría el rendimiento de los cultivos agrícolas, la estructura del suelo y permitiría un crecimiento en la vida acuática ya que este residuo no sería vertido de manera desproporcionada.

3.4.2 Consideraciones sociales

- Generación de empleos.
- Construcción de viviendas.
- Mejoramiento de la infraestructura urbanística.
- Generación de divisas o sustitución de importaciones.
- Desarrollo de un centro docente.

CONCLUSIONES

1. Existen suficientes elementos científico en la investigación que consideran al lactosuero como un elemento clave para la elaboración de diferentes productos por su alto contenido de lactosa fácilmente fermentable, proteínas de excelentes propiedades y su alto valor nutritivo.
2. El esquema tecnológico propuesto es adecuado para los fines que se propone lograr con la investigación realizada.
3. El análisis económico arrojó valores del VAN y el TIR que ratifican la rentabilidad de la inversión. El período de recuperación de la inversión es de 2 años y 3 meses lo que ratifica que la inversión es factible.

RECOMENDACIONES

1. Tomar como base los resultados obtenidos en esta investigación para continuar con una serie de investigaciones de interés actual, diversificando así el uso del lactosuero, evitando la contaminación y dejando de lado el uso de consumo animal.
2. Se recomienda profundizar en el estudio de obtención de diferentes variables en la etapa de fermentación para determinar el contenido de lactosa presente en el lactosuero.
3. Evaluar la obtención de etanol a partir de la fermentación de suero láctico en volúmenes mayores.
4. Efectuar estudios adicionando otros microorganismos y evaluar los resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aider, M., de Halleux, D., & Melnikova, I. (2009). Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact of processing conditions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 10(3), 334-341.
- Arteaga, P. (2016). Aplicaciones del alcohol etílico. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria*, 3, 3.
- Alcocer, J. E. C. (2017). *Diseño de un proceso industrial para la obtención de bioetanol a partir de lactosuero destinado a la elaboración de perfumes*.
- Branan, C. R. (2000). *Soluciones prácticas para el Ingeniero Químico*. México: McGraw-Hill.
- Capdevila, V. E., Kafarov, V., Gely, M. C., & Pagano, A. M. (2015). Revalorización de residuos de la industria alimenticia para la producción de bioetanol de segunda generación. *AAIQ Asociación Argentina de Ingenieros Químicos - CSPQ*.
- Chimbo Peñaloza, Vanessa Alexandra. (2016). Holdings: Producción de etanol a partir de suero de leche hidrolizado.
- Font, E. G. (2006). *Desarrollo de una bebida de suero dulce derivado de la fabricación de queso fresco, fermentada con cultivos Lactobacillus helveticus y Streptococcus salivarius var thermophilus (TCC-20), adicionada con cultivos probióticos Lactobacillus paracasei subsp. Paracasei LC-01*.
- Francisco Martín, W., López Bastida, E., Castellanos Álvarez, J. A., & Gil Fundora, S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Universidad de Cienfuegos.
- González, C. P., & Fernández, M. D. (2006). Efecto de la concentración inicial del lactosuero sobre la fermentación alcohólica con *Kluyveromyces fragilis*. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 26(1), 317-327.
- Hernández, J. C., García, F. P., Cruz, V. E. R., Santillán, Y. M., & Marzo, M. A. M. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: Potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*, 22(1), 11-18.
- Huertas, R. A. P. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. *Revista facultad nacional de agronomía Medellín*, 62(1), 4967-4982.
- Hurtado, S. (2015). Criterio de expertos. Su procesamiento a través del método Delphy. *Histodidáctica*.

- López, D. G. (2022). *Comportamiento de variables en la fermentación del suero de leche con Saccharomyces Cerevisiae*. (Tesis para obtener el título de ingeniero químico), Universidad de Cienfuegos.
- Parra Huertas, R. A. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. *Revista facultad nacional de agronomía Medellín*, 62(1), 4967-4982.
- Parras Huertas, Ricardo A. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. | Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24892>
- Peters, M., & Timmerhaus, K. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York: McGraw-Hill International Editions.
- Proaño, C. D., & Armas, D. G. (2011). *Estudio de la influencia del suero de leche fermentado en la elaboración de jabón líquido con ph ácido*. (Tesis para obtener el título de ingeniero industrial), Universidad técnica del norte.
- Ramos Miranda, F. E., & García Prado, R. (2011a). Una aproximación a la toma de decisiones en el escenario azucarera mediante el Método Delphi. Un estudio de caso. . *Revista Centro Azúcar*, 3(8).
- Ramos Miranda, F. E., & García Prado, R. (2011b). Una aproximación a la toma de decisiones en el escenario azucarera mediante el Método Delphi. Un estudio de caso. *Revista Centro Azúcar*, vol. 38.
- Río, R. S. d., Gallego, C. A., Soler, E. A., Bedmar, E. J., Arcos, M. C., Peláez, L. C., . . . Muñoz, G. T. (2014). De residuo a recurso el camino hacia la sostenibilidad. II 2 Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica. from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=857834>
- Rivas, J. J. L., & Arroliga, J. L. P. (2015). *Uso de lacto suero en sinergia con Saccharomyces cerevisiae como materia prima para la producción de etanol a escala piloto*. UNAN-Managua.
- Shuilema, E. C. O. (2022). *Estudio de las propiedades del lacto suero para su uso en la industria heladera*. (Presentado para optar al grado académico de Ingeniera en Industrias Pecuarias).
- Silla, H. (2003). *Chemical process engineering desing and economics*. New Jersey: Marcel Dekker, Inc.
- Towler, G., & R., S. (2009). *Chemical Engineering Design. Principles and Practice and Economics of Plant and Process Design*. *Chemical engineering design*.

Uribe, M. M. L., Valencia, J. U. S., Monzón, A. H., & Suescún, J. E. P. (2008). Bebida fermentada de suero de queso fresco inoculada con lactobacillus casei fermented fresh cheese milkwey beverage inoculated with Lactobacillus casei.

Vaquiroy C., J. D. (2010). Período de recuperación de la inversión (PRI).