

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITERAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y

Ciencias de la Producción

"Diseño de un sistema de limpieza CIP utilizando tensoactivos de origen microbiano para una línea de producción de leche evaporada"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERAS EN ALIMENTOS

Presentado por:

Gina Melissa Centanaro Landívar

Maité Paola Vareles Villagómez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por ser mi apoyo y guía incondicional;

a Dianita e Ivette por acompañarme en cada amanecida a lo largo de nuestra carrera;

a Alexito por todos tus consejos y palabras de aliento; Johnny y Víctor por su tiempo dedicado para ayudarnos;

y por último gracias a ti Maité, por confiar en mí como tu amiga y compañera de tesis, por todas las risas y apoyo a lo largo de estos años desde dentro de la universidad hasta afuera en Alemania.

Gina Melissa Centanaro Landívar

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la virgen María por brindarme la oportunidad de cumplir esta meta.

A Miguel y a Yanina, mis padres, a quienes más admiro en este mundo por sus valores, carácter y esfuerzo, además de la confianza que han depositado en mí.

A mi familia en general, por el apoyo incondicional.

A ti Alex, por no solo motivarme durante la ejecución de este proyecto, sino también por la confianza, dedicación y cariño que me entregas.

A mis amigos Diana, Clemente y Victor con quienes sostengo una amistad inquebrantable.

Y, por último, a ti Gina, con quien una amistad peculiar resulta en una mayor felicidad por este proyecto realizado.

Maité Paola Vareles Villagómez

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Al Dr. Jonathan Coronel León por su compromiso, motivación y conocimiento para el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Jorge Blum, por su aporte técnico, demostrando compañerismo a sus futuros colegas.

A la Ing. Adriana Correa por el apoyo brindado para llevar a cabo el proyecto.

Al M.P.C Kenny Escobar y todos los profesores que contribuyeron en el desarrollo de este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

GINA MELISSA CENTANARO LANDÍVAR

MAITÉ PAOLA VARELES VILLAGÓMEZ

DR. JONATHAN RICARDO CORONEL LEÓN

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.


GINA CENTANARO L.


MAITÉ VARELES V.


JONATHAN CORONEL L.

RESUMEN

En la industria alimentaria los procedimientos de limpieza son un requisito que tienen como objetivo eliminar o reducir cualquier tipo de contaminación que pueda comprometer la seguridad alimentaria. Sin embargo, para llevar a cabo este proceso se consumen grandes volúmenes de agua y energía eléctrica, los cuales contribuyen a costos de operación y de impacto ambiental. Por esto, en el presente proyecto se propuso diseñar un proceso CIP eco-amigable a través de la incorporación del tensoactivo de origen microbiano BTDS23_L para limpiar un evaporador de película ascendente en la producción de leche evaporada. Se estableció un proceso convencional al que se denominó CIP1 y se evaluó el potencial uso del BTDS23_L en determinadas etapas del proceso a distintas concentraciones de aplicación. Se determinó que el proceso CIP1 y todas sus modificaciones CIP2, CIP3 y CIP4 fueron eficaces, cumpliendo con la microbiología especificada en la norma peruana 461-2017-MINSA. Finalmente, considerando el impacto ambiental y económico que genera cada proceso, se determinó que el proceso CIP2, por no usar calor, fue el proceso más conveniente, pues requirió el menor consumo de agua 120,9L/operación y energía 5.9Kw-H/operación, estimando un costo total de operación anual de \$131,52. Estos resultados indican una disminución del 49.34% en consumo de agua, 58.44% en consumo de energía y 29.85% del costo anual estimado, en relación a los consumos estimados para el CIP1.

Palabras Clave:

CIP, limpieza, biotensoactivo, eco-amigable

SUMMARY

In the food industry cleaning procedures are an essential requirement that aim to eliminate or reduce any type of contamination that could compromise food safety. However, to carry out this process, large volumes of water and electricity are consumed, which contribute to the operational costs and environmental impact. For this reason, in the present project it is proposed to design an eco-friendly CIP process through the incorporation of the microbial surfactant BTDS23_L to clean an upstream film evaporator in the production of evaporated milk. A conventional process (CIP1) was established and the potential use of BTDS23_L in certain stages of the process at different application concentrations was evaluated. It was determined that the CIP1 process and all its modified processes CIP2, CIP3 and CIP4 were effective complying with the microbiology specified in the Peruvian Standard 461-2017-MINSA. Finally, considering the environmental and economic impact generated by each process, it was determined that the CIP2 process, for the reason it didn't use heat, was the most convenient one, as it required the lowest consumption of water 120.9 L/operation and energy 5.9 Kw-H/operation, estimating a total annual operational cost of \$ 131.52. These results suggest a decrease of 49.34% of water consumption, 58.44% of energy consumption, and 29.85% decrease of the estimated annual cost, in relation with the estimated values for CIP 1.

Keywords:

CIP, cleaning, biosurfactant, eco-friendly

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
SUMMARY	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGIA	VI
INDICE DE TABLAS	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivo Específico	2
1.3 Marco Teórico.....	2
1.3.1 Limpieza.....	2
1.3.2 Parámetros para el diseño CIP	3
1.3.3 Productos de Limpieza.....	4
2 METODOLOGÍA DE DISEÑO.....	9
2.1 Levantamiento de Información	10
2.1.1 Producción de Leche Evaporada	10
2.1.2 Materiales	10
2.1.3 Obtención del Biotensoactivo.....	11
2.2 Diseño del Procesos CIP.....	12
2.2.1 Proceso CIP Convencional (CIP 1).....	12
2.2.2 Utilización de compuestos BTDS23L.....	12
2.3 Evaluación de Procesos CIP	13
2.3.1 Toma de Muestras	13
2.3.2 Verificación Microbiológica.....	14
2.3.3 Análisis de Remoción de Partículas.....	15
2.3.4 Análisis Estadístico	16

2.4	Estimación de Costos	16
3	RESULTADOS.....	12
3.1	Diseño de sistema CIP	12
3.2	Verificación Microbiológica	12
3.3	Resultados de la Evaluación de los procesos CIP	19
3.3.1	Remoción de Partículas	19
3.3.2	Tiempo Total de Operación.....	20
3.3.3	Consumo de Insumos de Limpieza.....	21
3.3.4	Consumo de Agua	22
3.3.5	Consumo de Energía	23
3.4	Establecimiento de Procesos CIP	23
3.5	Resultados de Costos Proceso CIP	26
3.5.1	Resultados de Costos BTDS23L	26
3.5.2	Costos de Operación de Procesos CIP.....	26
4	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	30
4.1	DISCUSIÓN.....	30
4.2	CONCLUSIONES.....	31
4.3	RECOMENDACIONES	32
	BIBLIOGRAFÍA.....	32
	APÉNDICE	33

ABREVIATURAS

ANOVA	Análisis de Varianza
ATP	AdenosinTriFosfato
BT	Biotensoactivo
BTDS23L	Biotensoactivo líquido de <i>Bacillus Subtilis</i> DS023
CIBE	Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador
CIP	Cleaning In Place
COP	Cleaning Out of Place
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
PAA	Ácido Peracético
UFC	Unidades Formadoras de Colonia
mg	Miligramo
g	Gramo
kg	Kilogramo
mm	Milímetro
m	Metro
in	Pulgada
ml	Mililitro
L	Litro
gal	Galón
m ³	Metro cúbico
ppm	Partes por millón
s	Segundo
Min	Minuto
h	Hora
rpm	Revoluciones por minuto
Kw	Kilowatts
pH	Potencial de hidrógeno
m/s	Velocidad
L/h	Caudal
Kw-h	Potencia
v/v	Concentración volumen - volumen
µg	Microgramos

SIMBOLOGIA

°C	Grados Celsius
NaOH	Hidróxido de Sodio
KOH	Hidróxido de Potasio
HNO ₃	Ácido Nítrico
H ₂ PO ₄	Ácido Fosfórico
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
Å	Angstrom

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Flujo requerido para alcanzar una velocidad de 1.5 m/s en diferentes diámetros de tubo	4
Tabla 2. Ventajas y Desventajas de Detergentes Alcalinos	5
Tabla 3. Componentes usados para la formulación de detergentes alcalinos usados en sistemas CIP y sus características	5
Tabla 4. Componentes usados para la formulación detergentes ácidos usados en sistemas CIP y sus características.	6
Tabla 5. Corridas experimentales para la evaluación del BTDS23 _L	13
Tabla 6. Especificación Técnica para Ensayos Microbiológicos	14
Tabla 7. Variables de respuesta y su contraste de hipótesis	16
Tabla 8. Resumen de resultados de aerobios mesófilos en UFC/ml.	18
Tabla 9. Resumen de resultados coliformes totales en UFC/ml	18
Tabla 10. Reducción de carga aerobios mesófilos (%)	19
Tabla 11. Reducción de carga coliformes totales (%)	19
Tabla 12. Tiempo promedio de procesos de limpieza (min)	21
Tabla 13. Consumo de Insumos de Limpieza	22
Tabla 14. Promedio de consumo de agua en procesos de limpieza (ml).	22
Tabla 15. Consumo de energía promedio de procesos CIP (Kw-h)	23
Tabla 16. Datos evaluados	24
Tabla 17. Resumen de Análisis no paramétrico Kruskal Wallis	25
Tabla 18. Costo de biotensoactivo líquido BTDS23 _L	26
Tabla 19. Detalle de costos asociados a los procesos CIP (\$/año)	27
Tabla 20. Equivalencia porcentual de los costos de operación de los procesos CIP	27
Tabla 21. Equivalencia porcentual consumo recursos	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Proceso de la metodología	9
Figura 2.2. Esquema operativo del evaporador Armfield FT22	11
Figura 3.1. Resultados de análisis de remoción de partículas	20
Figura 3.2. Equivalencia porcentual de costos operativos totales	28
Figura 3.3. Equivalencia Porcentual Consumo Recursos	29

CAPITULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

En la industria alimentaria, los procedimientos de limpieza son un requisito de Buenas Prácticas de Manufactura para mantener la higiene de las instalaciones y equipos. Estos procedimientos tienen como objetivo eliminar o reducir cualquier tipo de contaminación que pueda comprometer la seguridad e inocuidad de los alimentos procesados.

Para llevar a cabo la limpieza se requiere de recursos como: agua, energía eléctrica y productos químicos, los mismos que contribuyen a los costos de operación e impacto ambiental. Esto ha motivado a que desde las últimas décadas las industrias busquen desarrollar procesos rentables y eco-amigables, mediante la implementación de sistemas que reduzcan el efecto de la contaminación y la degradación de los recursos (FAO, 1996).

Actualmente se conocen los problemas concernientes a la escasez de agua que están ligados al crecimiento de la población y cambio climático. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) proyecta que este recurso será insuficiente para la mitad de la población mundial en el año 2025 (OMS, 2017). Pese a la problemática, en las industrias alimentarias el agua es explotada dentro de las operaciones de manufactura como de las de limpieza y sanitización. En Ecuador, según la base de datos de concesiones de SENAGUA el consumo de agua por parte del sector industrial representa un 7% (CEPAL, 2012).

Otro asunto relevante es la utilización de productos de síntesis química, los cuales son uno de los causantes de la sedimentación de ríos o afectando las concentraciones en los efluentes de las aguas residuales. Esto ha originado que la industria ecuatoriana sea regularizada a través de políticas ambientales con el objetivo de prevenir la contaminación, mantener y recuperar la calidad ambiental.

Por tal razón, en el presente proyecto se plantea el diseño de un proceso amigable con el medio ambiente a través del uso de tensoactivos de origen microbiano o biotensoactivos (BTDS23L).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un proceso CIP eco-amigable a través de la incorporación de tensoactivos microbianos en una línea de producción de leche evaporada.

1.2.2 Objetivo Específico

1. Determinar los parámetros de operación para un sistema CIP estándar.
2. Evaluar el potencial uso del biotensoactivo en la fase pre- enjuague y fase alcalina del sistema CIP.
3. Evaluar los costos de operación asociados a la inclusión de BT en el sistema CIP.

1.3 Marco Teórico

En el marco del presente proyecto se precisaron los fundamentos a continuación.

1.3.1 Limpieza

Definición

Se define como la remoción de suciedad, residuos de alimentos, grasa u otra materia extraña (Codex, 2003).

Métodos de Limpieza

Existen métodos de limpieza que pueden ser clasificados entre físicos y químicos. El método físico involucra el uso de calor, fuerza de fricción, flujo turbulento o limpieza al vacío; para la remoción de suciedad se emplean materiales como cepillos, escobas, esponjas o paños. Mientras que los métodos químicos necesitan de agua para el empleo de detergentes alcalinos o ácidos. Otra clasificación de los métodos de limpieza es acorde al diseño de equipo, estos son los métodos de "Limpieza en Sitio" y "Limpieza Fuera de Sitio", o también conocidos como limpieza CIP y limpieza COP por sus siglas en inglés (Cleaning In Place y Cleaning Out of Place) respectivamente (PAHO, 2016).

COP

Es un método de limpieza que se realiza cuando los equipos poseen la facilidad de desmontarse, es decir que no es un sistema cerrado. Estos sistemas son caracterizados por el uso de acción mecánica como principal mecanismo de limpieza y por el uso de detergentes espumantes.

CIP

Es un método de limpieza aplicable en superficies internas de sistemas cerrados como son las tuberías, filtros, contenedores y otros equipos para el procesamiento de alimentos. El método consiste en pasar una solución química por el circuito CIP, sin la necesidad de desmantelar los equipos a limpiar (Litecka, 2016).

La solución química actúa como surfactante reduciendo la tensión superficial de los residuos adheridos a las paredes. Esto ayuda a disolverlos, haciendo más eficiente la limpieza del sistema. El químico a utilizar dependerá del tipo de residuo a eliminar, los cuales pueden ser orgánicos, como las grasas, carbohidratos o proteína; o inorgánicos, como las sales y minerales (Romney, 1990).

El procedimiento estándar del sistema CIP puede consistir de 5 a 7 etapas dependiendo de los requerimientos del proceso (Tamime, 2008):

1. Pre-Enjuague
2. Circulación del agente alcalino
3. Enjuague Intermediario,
4. Circulación del agente ácido
5. Segundo enjuague intermediario
6. Desinfección
7. Enjuague Final.

1.3.2 Parámetros para el diseño CIP

Los parámetros a considerar para el diseño del sistema CIP son cuatro: acción mecánica, acción química, temperatura y tiempo de acción. Estos son representados por el Círculo de Sinner, el cual indica que los cuatro parámetros dependen todos entre sí, y alguna variación en uno de ellos deberá ser compensado variando los otros tres parámetros (Lelieveld, Mostert, & Holah, 2005).

Fuerza mecánica

Se logra la fuerza necesaria llevando a cabo un flujo turbulento. Como regla general, la velocidad del flujo debe ser mayor a 1.5 m/s para ser adecuada. En la Tabla 1 se refleja cuál es el flujo requerido para alcanzar una velocidad de 1.5 m/s, según el diámetro de tubería. Se puede mejorar la turbulencia al crear estrés del flujo por corte de líneas; además se debe evitar zonas muertas y zonas de recirculación creados por puntos de expansión (Romney, 1990).

Tabla 1. Flujo requerido para alcanzar una velocidad de 1.5 m/s en diferentes diámetros de tubo

Diámetro Tubo (mm)	(in)	Flujo (L/h)	Volumen (L/100m tubo)
25.0	1"	2070	40
38.0	1.5"	5100	99
51.0	2"	9600	184
63.5	2.5"	15400	287
76.0	3"	22500	408
101.6	4"	40200	748

Fuente: Romney, CIP: Cleaning in Place. CIP, 1990.

Acción química

Se requiere de un agente que logre eliminar o reducir la tensión superficial de los residuos orgánicos o inorgánicos mencionados, o que a su vez actúe como emulsionante logrando reducir ambos.

Temperatura

Como regla general, debe ser igual a la temperatura del procesado de alimentos. Si la temperatura es mayor, podrían ocurrir reacciones de desnaturalización o reticulación.

Cada uno de estos tres parámetros estará en función del tiempo de acción. Si el flujo, temperatura o concentración de químico no es la óptima, tardará más en realizarse la limpieza.

1.3.3 Productos de Limpieza

Al realizar una elección de productos de limpieza, se debe considerar los componentes de la formulación, ya que dependiendo de su función, éstos pueden sanitizar o limpiar. Según su formulación, los detergentes pueden ser divididos en tres tipos: alcalinos, neutros o ácidos (Moerman, Rizoulières, & Majoor, 2014).

1.3.3.1 Síntesis Química

Detergentes Alcalinos

Los detergentes alcalinos, son sustancias surfactantes que tienen la propiedad de disolver la suciedad en agua. Tienen un pH entre 9 a 12.5 (General Services Administration, 2016). Según el portal de U.S General Services Administration en Estados Unidos, los detergentes alcalinos tienen las ventajas y desventajas que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Ventajas y Desventajas de Detergentes Alcalinos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ol style="list-style-type: none">1. Remueven alto espectro de sólidos que cualquier otro tipo de detergente.2. Son económicos.3. Algunos tienen baja propiedad espumante.	<ol style="list-style-type: none">1. Son irritantes para la piel.2. Pueden conllevar a la formación de incrustaciones de sal.3. Requieren de mucho enjuague para evitar su asentamiento.4. Tienden a corroer las superficies.

Fuente: Romney, CIP: Cleaning in Place. CIP, 1990.

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

En un sistema CIP los detergentes alcalinos generalmente son empleados para la remoción de residuos orgánicos, y pueden estar formados por los siguientes componentes resumidos en la Tabla 3.

Tabla 3. Componentes usados para la formulación de detergentes alcalinos usados en sistemas CIP y sus características

Componente	Características
NaOH	- Químico base para la hidrolización de grasas.
KOH	- Químico base para la hidrolización de proteínas. - Mayor facilidad de enjuague, pero más costoso que NaOH.
Silicatos, fosfatos, fosfonatos, citratos	- Coadyuvantes con propiedades suspensivas. - Mejoran la eficacia de los surfactantes para la remoción de residuos.

Fuente: Romney, CIP: Cleaning in Place. CIP, 1990.

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Detergentes Ácidos

Los detergentes ácidos son químicos usualmente encontrados en forma de solución acuosa y deben tener un pH menor a 2.5. Generalmente tienen como base ácido fosfórico, bisulfato de sodio, ácido oxálico, ácido glucónico, o ácido clorhídrico (General Services Administration, 2016).

En sistemas CIP estos detergentes se utilizan para la remoción de residuos inorgánicos como las incrustaciones de sales minerales en las superficies. En la Tabla 4 se resume la lista de componentes que pueden ser utilizados para su formulación (Moerman et al., 2014).

Tabla 4. Componentes usados para la formulación detergentes ácidos usados en sistemas CIP y sus características.

	Componente	Característica
Ácidos Minerales	Solución de ácido nítrico HNO ₃ (1-2%)	-Para la remoción de residuos minerales de leche y cerveza. -No debe combinarse con surfactantes. -Puede oxidar superficies y eutrofización del agua.
	Solución de ácido sulfúrico H ₂ SO ₄ (1%)	-Corrosivo del acero inoxidable. -Necesario añadir un anticorrosivo. -Bajo poder detergente. -Temperatura de aplicación limitada a 40°C
	Ácido Fosfórico H ₂ PO ₄	-Menos corrosivo que HNO ₃ y H ₂ SO ₄ . -Puede contribuir a formar efluentes con agua fosforosa. -Puede causar eutrofización del agua.
	Ácido sulfámico	-Usado para la remoción de óxido e incrustaciones de cal.
Ácidos orgánicos	Ácidos fórmico, acético, cítrico, tartárico, láctico, o glucónico	-Aceptados para la práctica en alimentos como aditivo. -Menos corrosivos y tóxicos que los ácidos minerales. -Altas concentraciones puede incrementar la demanda química de oxígeno (DQO) en efluentes.
	Ácido sulfónico	-Propiedad detergente. -No es oxidativo.
	Ácido Peracético (PAA)	-Tiene propiedad detergente y desinfectante. -No produce espuma. -Puede atacar el caucho. -Puede causar corrosión.

Fuente: Romney, CIP: Cleaning in Place. CIP, 1990.

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Detergentes Neutros

Se utilizan fosfatos, fosfonatos y citratos, los cuales otorgan a la solución del detergente un pH entre 6 a 8 para evitar la corrosión de superficies de aluminio y galvanizados a causa del agente alcalino (Moerman et al., 2014).

Otros componentes

A continuación, se resumen otros componentes que pueden añadirse a la fórmula como auxiliares o coadyuvantes para mejorar la eficacia del detergente alcalino, ácido o neutro (Moerman et al., 2014):

Surfactantes

Ayudan a la remoción de residuos orgánicos, sobretodo grasas. Tienen propiedad emulsionante, penetrante, y permiten la suspensión y dispersión de sólidos.

Tipos de Surfactantes:

- No iónicos: Reducen la tensión superficial
- No iónicos hidrofóbicos: Propiedad antiespumante.
- Catiónicos: Bajo poder detergente y alto poder microbicida
- Anfotéricos: Propiedad detergente con efecto microbicida.

Ablandadores

Agentes quelantes utilizados en detergentes alcalinos. Ayudan a disminuir la dureza del agua. En este grupo se encuentra el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ácido nitrilotriacético (NTA) y los gluconatos.

Secuestrantes

Reducen la concentración de EDTA y NTA, y previenen la deposición del agua durante el enjuague del detergente alcalino. En este grupo se encuentran los fosfonatos, polifosfonatos y poliacrilatos.

Anticorrosivos

Previenen la corrosión del acero inoxidable. Entre los compuestos se encuentran los poliscatos, carbohidratos modificados y fosfonatos.

1.3.3.2 SINTESIS BIOLÓGICA

Existen también compuestos obtenidos a partir de síntesis biológica, que pueden ser utilizados como parte de la formulación de los detergentes, debido a sus propiedades hidrolíticas o emulsionantes. En los últimos años ha crecido el interés sobre la aplicabilidad de estos compuestos, debido a su capacidad de biodegradarse con mayor facilidad que aquellos compuestos de síntesis química, reduciendo la carga contaminante en aguas de descarga.

Enzimas

Una enzima es un catalizador de origen proteico, que tiene como función acelerar la velocidad de las reacciones químicas de una célula (Madigan, 2009). Enzimas como proteasas, lipasas y amilasas pueden utilizarse para remover los depósitos de proteínas, grasas y almidones respectivamente. Suelen utilizarse sólo para la limpieza de membranas de filtrado, debido a que su carácter proteico limita su uso a una temperatura por debajo de los 45°C. Otra desventaja es que incrementan el contenido de nitrógeno en el agua de descarga (Moerman et al., 2014).

Biotensoactivo (BT)

Los biotensoactivos o biosurfactantes son compuestos anfifílicos de origen microbiano, que tienen la habilidad de acumularse entre dos fases de fluidos, reduciendo la tensión superficial y de la interfase. Los biosurfactantes pueden ser producidos por *Acinetobacter sp.*, *Bacillus sp.*, *Candida antartica*, *Pseudomonas aeruginosa* (Md, 2012).

La ventaja de los BT es que cuentan además con la característica de poseer actividad antimicrobiana, ser biodegradables y de baja toxicidad (Md, 2012).

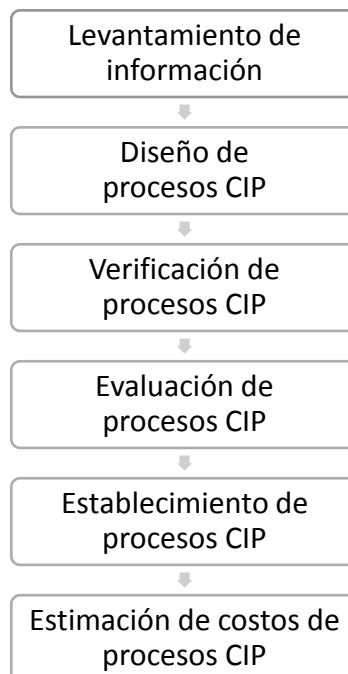
CAPITULO 2

2 METODOLOGÍA DE DISEÑO

En esta sección se detallará el proceso metodológico del presente proyecto, el mismo se ilustra en la Figura 2.1. La metodología de diseño elegida engloba seis fases, el levantamiento de información, el diseño de los procesos de limpieza CIP, la verificación microbiológica de dichos procesos, la evaluación y comparación de los procesos CIP, el establecimiento de los procedimientos de limpieza CIP por medio de análisis estadístico, y la estimación de los costos operaciones de cada proceso CIP.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Investigación y Desarrollo “M. Sc. Miranda” y Laboratorio de Microbiología de la Facultad Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Figura 2.1. Proceso de la metodología



Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

2.1 Levantamiento de Información

En esta fase se recopiló información acerca del estado, consideraciones técnicas, funcionamiento y procedimiento de limpieza del evaporador. En este contexto, se realizaron entrevistas a la Ing. Stephanie Llanos (docente responsable del laboratorio), al Ing. Patricio Cáceres (coordinador de la carrera Ingeniería en Alimentos), y al Ing. Jorge Blum (experto en procesos de limpieza y proveedor de químicos de Diversquim). El modelo de entrevista utilizado se adjunta en el Apéndice 1 y Apéndice 2.

Adicionalmente, se realizó una entrevista con el gerente de una planta procesadora de lácteos, la cual fue necesaria para conocer los procedimientos de limpieza pre-operacionales y post-operacionales que se ejecutan in-situ (véase Apéndice 3).

2.1.1 Producción de Leche Evaporada

Como punto de partida se utilizaron tres litros de leche pasteurizada (4.9°Brix) obtenida del sector El Buijo. El proceso de evaporación se llevó a cabo en un evaporador de película ascendente (ARMFIELD modelo FT22) a un flujo de 7 L/h y una temperatura de evaporación de 71°C. Finalmente, se obtienen aproximadamente 1.4 L a una concentración de 9.2°Brix. Este proceso se realizó previo a cada uno de los sistemas CIP diseñados.

2.1.2 Materiales

Insumos

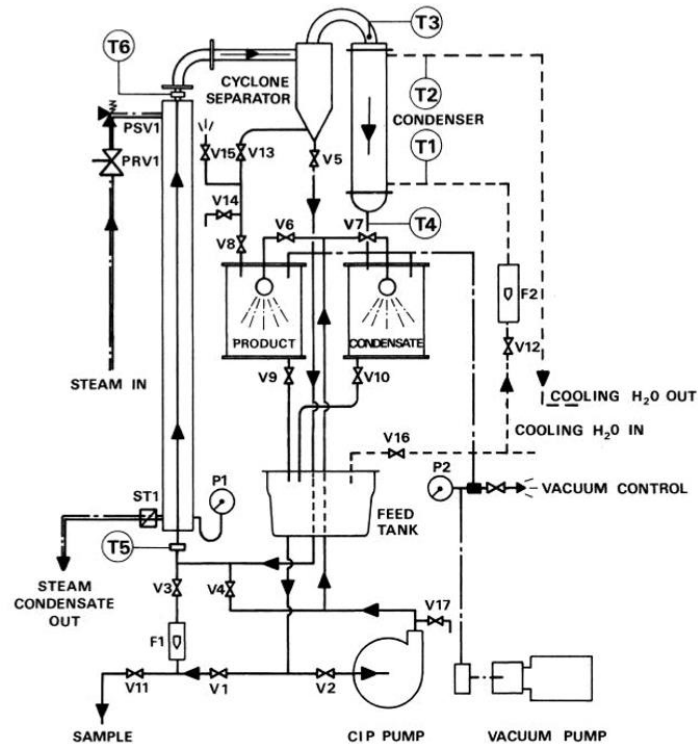
Para el diseño de sistema CIP se utilizaron los siguientes compuestos: DIVOSAN TC86 (detergente alcalino), DIVOSAN MH (detergente ácido), estos productos fueron proporcionados por la empresa Diversey. El biotensoactivo fue producido en los laboratorios de CIBE-ESPOL. Adicionalmente se emplearon reactivos de fenolftaleína y rojo de metilo como indicadores de pH.

Equipos

Para la ejecución de los procesos se empleó el evaporador de película ascendente de marca comercial Armfield FT22, el mismo que cuenta con una capacidad de 30 L de alimentación, una bomba CIP con capacidad de flujo 8 L/min a 20 pies de agua. La capacidad del tanque de producto y tanque de condensados son de 5 L cada uno.

En la Figura 2.2 se observa el esquema de operación del evaporador de película ascendente detallando la ubicación de las válvulas, como también los tanques de producto final y de condensados.

Figura 2.2. Esquema operativo del evaporador Armfield FT22



Fuente: (Armfield, 2013)

2.1.3 Obtención del Biotensoactivo

El biotensoactivo se produjo a partir de un cultivo de la bacteria *Bacillus subtilis* DS023. Para su recuperación, en el sobrenadante libre de células se adicionó 500µg de ácido clorhídrico al 37%. Después se refrigeró la solución a 10°C por 20h. Se procedió a centrifugar a 5000 rpm 4°C por 15 min y se obtuvo el extracto crudo de BT. La preparación del BT líquido se realizó a una concentración de 0,8 mg/ml y luego se diluyó de acuerdo a las condiciones de trabajo establecidas. Al compuesto se denominó BTDS23L.

2.2 Diseño del Procesos CIP

2.2.1 Proceso CIP Convencional (CIP 1)

En primer lugar, se estableció un sistema CIP convencional (CIP 1) de 5 etapas para el evaporador, considerando las recomendaciones del proveedor de químicos DIVERSEY y el manual técnico del equipo.

El proceso CIP 1 se consideró como el punto control de las diferentes variaciones experimentales. La fase de Pre-Enjuague se realizó a una temperatura de 60°C mediante el uso de vapor por 6 minutos. Con respecto a las concentraciones utilizadas, en el sistema CIP1 se utilizó la concentración: 2% \forall_v de DIVOSAN TC 86 y 0.3% \forall_v de DIVOSAN MH a temperatura ambiente. Se estableció un tiempo de aplicación de 15 minutos para la fase alcalina y 15 minutos para la fase ácida.

Para asegurar un ambiente de turbulencia se trabajó a la máxima capacidad de operación de cada bomba, abriendo completamente las válvulas de paso de flujo. Usando la bomba de vacío, el flujo fue de aproximadamente 17 L/h, mientras que para la bomba CIP el flujo fue de 8 L /min.

Posteriormente este proceso CIP 1 se modificó en determinadas etapas, introduciendo el compuesto BTDS23_L en distintas condiciones que se mencionan a continuación.

2.2.2 Utilización de compuestos BTDS23_L

Para el segundo proceso (CIP 2) se introdujo BTDS23_L en una concentración del 2% \forall_v en la etapa de Pre-Enjuague a temperatura ambiente. En el tercer proceso (CIP 3) se decidió estudiar el comportamiento del BTDS23_L en la fase alcalina, por lo que se sustituyó el 25% del detergente DIVOSAN TC 86 con BTDS23_L en la solución final recomendada de 2% \forall_v . Por último, bajo los mismos principios del proceso CIP 3, se diseñó un cuarto proceso CIP 4, en donde BTDS23_L representó el 75% de la solución alcalina final.

En tres de los cuatro procesos descritos se introduce el BTDS23_L como se refleja resumido en la Tabla 5.

Tabla 5. Corridas experimentales para la evaluación del BTDS23L

PROCESO	MODIFICACIONES
<i>CIP 1</i>	Proceso CIP convencional
<i>CIP 2</i>	Pre-Enjuague usando BTDS23L al 2% v/v a temperatura ambiente
<i>CIP 3</i>	Fase Alcalina (2%v/v) usando Divosan TC 86 (75%) - BTDS23L (25%)
<i>CIP 4</i>	Fase Alcalina (2%v/v) usando Divosan TC 86 (25%) - BTDS23L (75%)

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

2.3 Evaluación de Procesos CIP

2.3.1 Toma de Muestras

Las muestras A se definieron como primera muestra y las muestras B se definieron como segunda muestra.

Para las muestras A se tomó 15 ml del Tanque de Producto Concentrando lleno hasta los 3.75 L y 15 ml del Tanque de Condensados lleno hasta los 3.75 L. Para las muestras B se tomó 15 ml del Tanque de Producto Concentrado llenado hasta los 1.25 L y 15ml del Tanque de Condensados llenado con 1.25 L.

Muestras para el Análisis de Remoción de Partículas

Las muestras iniciales destinadas al análisis de remoción de partículas se tomaron antes de descargar el contenido en los tanques al final de la Descarga Mayor de la fase de Remoción de Leche, tanto del proceso CIP 1 como del proceso CIP 2. Las muestras finales se tomaron antes de descargar el contenido en los tanques al final de la respectiva etapa de Pre-Enjuague.

Muestras para Verificación Microbiológica

Para el análisis microbiológico, en los cuatro procesos se realizó un enjuague utilizando 15 litros de agua previa a la evaporación de la leche. Se tomó una muestra al final de dicha operación a la que se denominó Muestra Inicial.

La Muestra final de cada proceso fue tomada antes de descargar el contenido, el cual fue al culminar la fase Enjuague Final del proceso CIP respectivo.

2.3.2 Verificación Microbiológica

Para cada uno de los experimentos previamente mencionados se realizó un conteo de aerobios mesófilos y coliformes fecales mediante el uso de métodos rápidos de la marca Neogen COMPACT DRY™TC y COMPACT DRY™EC respectivamente, utilizando Agua Peptonada Bufferada como medio de pre-enriquecimiento y dilución.

Para las muestras de las condiciones iniciales del equipo, se realizó la siembra de la segunda, tercera y cuarta dilución; mientras que para las muestras finales se sembró la primera dilución.

Método de Determinación

Los métodos de determinación de aerobios mesófilos y coliformes fecales fueron los de la AOAC descritos en la Tabla 6, los cuales se recomiendan en las especificaciones técnicas del respectivo método rápido (Hardy Diagnostics, 1996a) (Hardy Diagnostics, 1996b).

Para la verificación microbiológica de los procesos CIP se basó en la Norma Peruana 461-2017-MINSA “Guía técnica para el análisis microbiológico de superficies en contacto con alimentos y bebidas”.

Tabla 6. Especificación Técnica para Ensayos Microbiológicos

Parámetros	Método
<i>Determinación de aerobios mesófilos</i>	AOAC-RI 010404
<i>Determinación de coliformes totales</i>	AOAC-RI 110402

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Cálculo de Reducción de Carga Microbiana

Se promediaron las muestras A y B de cada proceso CIP, para obtener la carga promedio inicial y carga promedio final. De esta manera, se estimó la reducción de carga microbiana de aerobios mesófilos y coliformes totales mediante la siguiente Ecuación 2.1.

Ecuación 2.1. Reducción de Carga Microbiana (%)

$$\% \text{ Reducción Carga Microbiana} = \frac{(M_{i_x} - M_{f_x})}{M_{i_x}} \times 100\%$$

Tal que:

x es el proceso CIP evaluado;

M_i es la carga promedio de la muestra inicial en UFC / ml; y

M_f es la carga promedio de la muestra final en UFC / ml

2.3.3 Análisis de Remoción de Partículas

Generalmente en la industria alimenticia uno de los métodos para verificar la limpieza de una línea de producción es por técnicas de luminiscencia, el cual cuantifica moléculas de ATP sobre la superficie y hace referencia a la presencia de restos alimenticios y microorganismos. Considerando dicho principio y adaptándolo a nuestras condiciones experimentales, se decidió evaluar la turbidez como indicador de remoción de partículas sólidas. Se determinó la turbidez únicamente en la etapa previo al Pre-Enjuague y posterior al Pre-Enjuague del sistema CIP 1 y CIP 2. Por lo tanto, se estableció que un aumento de turbidez sugiere una mayor remoción de sólidos.

Para cada muestra se extrajo 2 ml y se colocó en un vial. Después, se midió la longitud de onda en el espectrofotómetro (Biotek Instruments, U.S.A) que se encuentra en el laboratorio del Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) en ESPOL. El porcentaje de remoción de partículas se obtuvo bajo la siguiente ecuación Ecuación 2.2:

Ecuación 2.2. Remoción Partículas (%)

$$\% \text{ Remoción Partículas} = \frac{(T_{i_x} - T_{f_x})}{T_{i_x}} \times 100\%$$

Tal que:

x es el proceso CIP evaluado;

T_i es la turbidez de la muestra inicial; y

T_f es la turbidez de la muestra final.

2.3.4 Análisis Estadístico

Para los análisis de remoción de partículas, consumo de agua y consumo de energía se realizaron análisis no paramétricos utilizando el método Kruskal-Wallis y realiza una prueba de valor atípico mediante Diagrama de Cajas (Minitab 17). Estos análisis se realizaron de manera independiente para cada variable respuesta con la finalidad de determinar si existen diferencias significativas entre los procesos experimentados. Las pruebas se realizaron con un nivel de confianza $\alpha = 0.05$. Se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) si el valor p obtenido del análisis Kruskal-Wallis es $p < 0.05$. A continuación, en la Tabla 7 se detalla el establecimiento de los contrastes de hipótesis de cada variable de respuesta a estudiar.

Tabla 7. Variables de respuesta y su contraste de hipótesis

<i>Variable de Respuesta</i>	<i>Hipótesis Nula (H_0)</i>	<i>Hipótesis Alterna (H_1)</i>
<i>Remoción de partículas</i>	Las medianas de los valores de remoción de sólidos de los procesos CIP 1 y CIP 2 son iguales.	Existe al menos una mediana diferente de los valores de remoción de sólidos de los procesos CIP1 y CIP2.
<i>Consumo de Agua</i>	Las medianas del total de consumo de agua (ml) necesarios para la operación de los procesos CIP 1, CIP 2, CIP3 Y CIP4 son iguales.	Existe al menos una mediana diferente del total de consumo de agua (ml) necesarios para la operación entre los procesos CIP1, CIP2, CIP3 Y CIP4
<i>Consumo de Energía</i>	Las medianas del total de consumo de energía (Kw-h) necesarios para la operación de los procesos CIP1, CIP2, CIP3 Y CIP4 son iguales.	Existe al menos una mediana diferente del total de consumo de energía (Kw-h) necesarios para la operación entre los procesos CIP1, CIP2, CIP3 Y CIP4.

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles (2017)

2.4 Estimación de Costos

En el presente proyecto, se consideró la cantidad de agua, cantidad de químicos y BTDS23_L utilizados en los diferentes procesos CIP, cantidad de diésel requerido si aplica, el consumo de energía para poder llevar a cabo la operación total, y otros costos indirectos que puedan afectar al costo total de operación.

CAPITULO 3

3 RESULTADOS

En el presente capítulo se analizan los resultados obtenidos de este proyecto. Es importante destacar que se han diseñado cuatro diferentes procesos CIP (Tabla 5), con el fin de evaluar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos y poder compararlas entre sí.

3.1 Diseño de sistema CIP

Como punto de partida, se diseñaron cuatro sistemas CIP, a partir de la información provista por la bibliografía y experiencia de trabajo de las personas entrevistadas. Se establecieron los parámetros operativos y además se elaboró un manual de uso para el proceso CIP1, como también para sus variantes CIP2, CIP3 y CIP4. El diagrama de flujo y manual de operación de los procesos se describen en el Apéndice 4.

3.2 Verificación Microbiológica

El objetivo de los sistemas de limpieza es eliminar la presencia de microorganismos que puedan comprometer la seguridad alimentaria. Por tal razón, antes de evaluar las ventajas y desventajas de los diferentes procesos CIP planteados, se evaluó la efectividad de cada uno. A continuación, se presentan los resultados de validación microbiológica.

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de recuento de aerobios mesófilos de las condiciones iniciales del equipo y finalizada la limpieza. Los resultados revelan que el estado inicial del equipo contemplaba una carga microbiológica promedio de 1.0×10^4 UFC/ml para el proceso CIP 1, 3.0×10^3 UFC/ml para el proceso CIP 2, 1.6×10^4 UFC/ml para el proceso CIP 3 y 4.8×10^3 UFC/ml para el proceso CIP 4. Mientras que en el estado final del proceso CIP 1 y CIP 3 se contabilizó 4.5×10^1 UFC/ml y 1.8×10^1 UFC/ml, respectivamente.

Tabla 8. Resumen de resultados de aerobios mesófilos en UFC/ml.

<i>Proceso</i>	<i>CIP 1</i>	<i>CIP 2</i>	<i>CIP 3</i>	<i>CIP 4</i>
<u><i>Muestra Inicial</i></u>				
<i>Muestra A</i>	1,5E+04	3,0E+03	8,5E+03	3,0E+03
<i>Muestra B</i>	5,2E+03	3,0E+03	2,3E+04	6,5E+03
<i>Promedio A y B</i>	1,0E+04	3,0E+03	1,6E+04	4,8E+03
<u><i>Muestras Final</i></u>				
<i>Muestra A</i>	9,0E+01	<1,0E+01	3,0E+01	<1,0E+01
<i>Muestra B</i>	<1,0E+01	<1,0E+01	5,0E+00	<1,0E+01
<i>Promedio A y B</i>	4,5E+01	<1,0E+01	1,8E+01	<1,0E+01

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Así mismo se presentan los resultados del recuento microbiológico para coliformes totales de las condiciones iniciales del equipo y finalizado el proceso CIP respectivo en la Tabla 9. Los resultados revelan que el estado inicial del equipo contemplaba una carga promedio de coliformes totales promedio de 2.5×10^3 UFC/ml para el proceso CIP 1, 1.5×10^3 UFC/ml para el proceso CIP 2, 6.4×10^3 UFC/ml para el proceso CIP 3 y 1.8×10^3 UFC/ml para el proceso CIP 4. Mientras que en el estado final del proceso CIP 1 y CIP 3 se contabilizó 4.5×10^1 UFC/ml y 1.8×10^1 UFC/ml, respectivamente. Se evidenció ausencia de coliformes totales al finalizar todos los procesos CIP por lo que se reportó presencia de coliformes totales $<1,0E+01$ UFC/ml en cada proceso.

Tabla 9. Resumen de resultados coliformes totales en UFC/ml

<i>Proceso</i>	<i>CIP1</i>	<i>CIP2</i>	<i>CIP3</i>	<i>CIP4</i>
<u><i>Muestra Inicial</i></u>				
<i>Muestra A</i>	2,5E+03	6,6E+02	6,1E+03	1,8E+03
<i>Muestra B</i>	2,5E+03	2,3E+03	6,7E+03	1,8E+03
<i>Promedio A y B</i>	2,5E+03	1,5E+03	6,4E+03	1,8E+03
<u><i>Muestras Final</i></u>				
<i>Muestra A</i>	<1,0E+01	<1,0E+01	<1,0E+01	<1,0E+01
<i>Muestra B</i>	<1,0E+01	<1,0E+01	<1,0E+01	<1,0E+01
<i>Promedio A y B</i>	<1,0E+01	<1,0E+01	<1,0E+01	<1,0E+01

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

La reducción de carga microbiana expresada en porcentaje, se visualiza en la Tabla 10 para aerobios mesófilos y en la Tabla 11 para coliformes totales.

Cada sistema CIP resultó positivo microbiológicamente, dado que se obtuvo al menos una reducción del 99,55% de reducción de carga en aerobios mesófilos y el 100% de coliformes totales para todos los procesos.

Tabla 10. Reducción de carga aerobios mesófilos (%)

Proceso	CIP1	CIP2	CIP3	CIP4
Reducción aerobios mesófilos (%)	99,55%	100,000%	99,89%	100,00%

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Tabla 11. Reducción de carga coliformes totales (%)

Proceso	CIP1	CIP2	CIP3	CIP4
Reducción coliformes totales (%)	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Una vez verificada la efectividad de reducción de carga microbiológica de los procesos CIP, se prosiguió con la evaluación de la incorporación del BTDS23_L, iniciando el estudio con el proceso CIP 2.

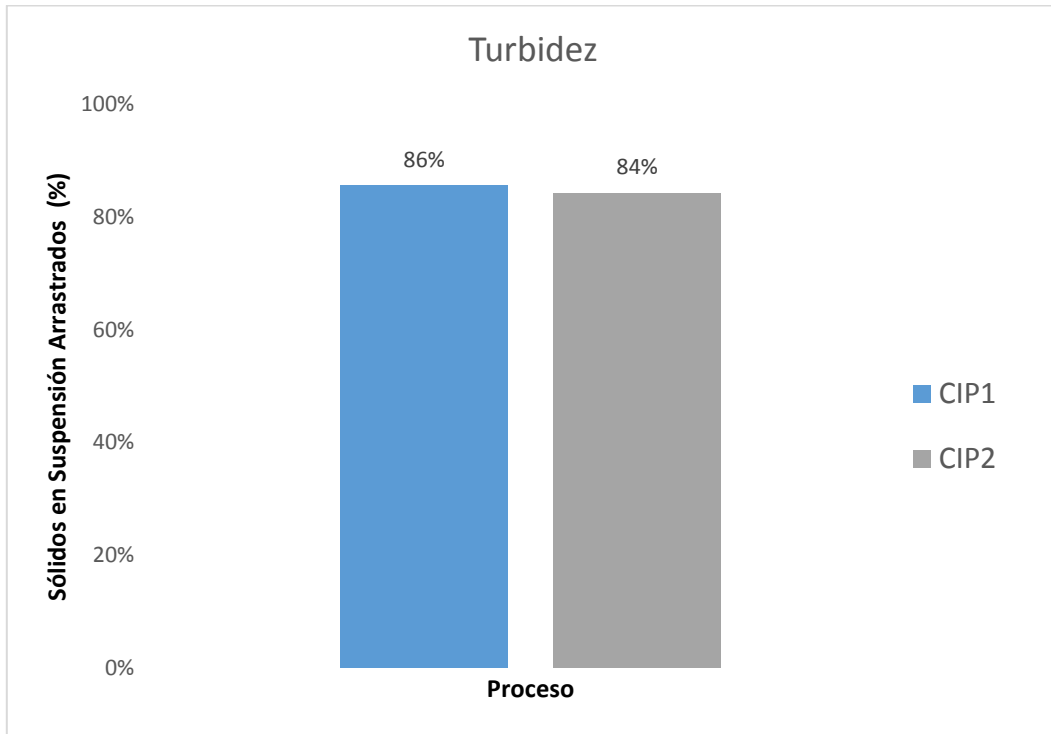
3.3 Resultados de la Evaluación de los procesos CIP

3.3.1 Remoción de Partículas

Se evaluaron cuatro procesos CIP, de acuerdo a las condiciones establecidas en el apartado 2.2.2. En primera instancia, se describen los resultados obtenidos cuando el compuesto BTDS23_L se añadió en la fase de Pre-Enjuague. Se comparó los procesos CIP 1 y CIP 2, en función de su capacidad de arrastrar los sólidos en suspensión en la etapa de Pre-Enjuague, de acuerdo al análisis de remoción de partículas descrito en el apartado 2.3.3.

En los resultados obtenidos mostrados en la Figura 3.1 se observa que el proceso CIP 1 logró un 86% de remoción de partículas sólidas con agua a 60°C. Mientras que en el proceso CIP 2, la remoción fue del 84% utilizando el BTDS23_L. La diferencia de la variación de turbidez entre ambos procesos fue del 2%.

Figura 3.1. Resultados de análisis de remoción de partículas



Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Posteriormente se evaluó la incorporación del compuesto BTDS23_L en la Fase Alcalina, estimando el tiempo total de operación, y a su vez, estimando el consumo de insumos de limpieza, agua y energía eléctrica.

3.3.2 Tiempo Total de Operación

Se calculó el tiempo total de operación que se requiere para ejecutar cada uno de los procesos de limpieza. A continuación, se muestra en la Tabla 12 el promedio de los tiempos totales obtenidos en la experimentación.

El factor cambiante en el tiempo total de cada proceso es el tiempo requerido en cada una de su respectiva fase de enjuague, Enjuague Intermedio y Enjuague Final. El tiempo de enjuague se calculó desde que inició el enjuague hasta alcanzar un pH neutro y visualizar ausencia de partículas en suspensión.

Tabla 12. Tiempo promedio de procesos de limpieza (min)

Etapa	CIP 1	CIP 2	CIP 3	CIP 4
<i>Descarga</i>	3	3	3	3
<i>Pre-Enjuague</i>	6	6	6	6
<i>Alcalino</i>	15	15	15	15
<i>Enjuague Intermedio</i>	17	31,875	12,75	17
<i>Acido</i>	15	15	15	15
<i>Enjuague Final</i>	17	29,75	19,125	17
<i>Tiempo subtotal de proceso</i>	73,0	100,6	70,9	73,0
<i>Tiempo de caldero</i>	33,6	0	33,6	33,6
<u>Tiempo total de proceso</u>	<u>106,6</u>	<u>100,6</u>	<u>104,5</u>	<u>106,6</u>

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Se puede observar en la Tabla 12 que el CIP 2 obtuvo un tiempo total de proceso cercano a los demás, a pesar de no requerir el uso del caldero. Para los CIP 1, CIP 3 y CIP 4 se consideró el tiempo necesario para alcanzar la presión del caldero, ya que requerían de vapor en la fase de Pre - Enjuague.

3.3.3 Consumo de Insumos de Limpieza

En la Tabla 13 se resume los insumos de limpieza a utilizar para cada proceso CIP. El consumo (ml/operación) se calculó para obtener 15 L de solución. Como se puede apreciar, las cantidades requeridas de BTDS23_L y DIVOSAN TC 86 se encuentran sujetos a las modificaciones mencionadas en el apartado 2.2.2. La preparación de solución de DIVOSAN MH se mantiene constante en los cuatro procesos CIP diseñados.

Así mismo, se asume que la limpieza se realiza con una frecuencia semanal. Para la estimación de consumo anual se consideraron las 52 semanas del año. El proceso CIP 2 es el que emplea mayor cantidad de insumos en mililitros.

Tabla 13. Consumo de Insumos de Limpieza

<i>Proceso</i>	<i>Insumo</i>	<i>Concentración Final (v/v)</i>	<i>Consumo (ml/operación)</i>	<i>Consumo (ml/mes)</i>	<i>Consumo (ml/año)</i>
<i>CIP 1</i>	Divosan TC 86	2%	300	1 200	15 600
	Divosan MH	0,3%	45	180	2 340
<i>CIP 2</i>	BTDS23 _L	2%	300	1 200	15 600
	Divosan TC 86	2%	300	1 200	15 600
	Divosan MH	0,3%	45	180	2 340
<i>CIP 3</i>	BTDS23 _L	0,5%	75	300	3 900
	Divosan TC 86	1,5%	225	900	11 700
	Divosan MH	0,3%	45	180	2 340
<i>CIP 4</i>	BTDS23 _L	1,5%	225	900	11 700
	Divosan TC 86	0,5%	75	300	3 900
	Divosan MH	0,3%	45	180	2 340

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

3.3.4 Consumo de Agua

En la Tabla 14 puede observarse que el consumo total de agua en el proceso CIP2 fue de 120,9 litros, el menor entre todos los procesos. En su balance no fue incluido la cantidad de agua requerida por el caldero, dado que el Pre-Enjuague realizado en ese tipo de proceso fue a temperatura ambiente. La cantidad de agua necesaria para el caldero es de 149,1 L (Mejía & Castillo, 2008).

Tabla 14. Promedio de consumo de agua en procesos de limpieza (ml).

<i>ETAPA</i>	<i>CIP 1</i>	<i>CIP 2</i>	<i>CIP 3</i>	<i>CIP 4</i>
<i>Descarga</i>	15 000	15 000	15 000	15 000
<i>Pre-Enjuague</i>	15 000	14 700	15 000	15 000
<i>Alcalino</i>	14 700	14 700	14 700	14 700
<i>Enjuague Intermedio</i>	17 000	31 875	12 770	17 000
<i>Acido</i>	14 955	14 955	14 955	14 955
<i>Enjuague Final</i>	17 000	29 750	19 125	17 000
Subtotal de agua consumida (ml)	93 655	120 980	91 550	93 655
Agua necesaria para caldero (ml)	145 149,6	0	145 149,6	145 149,6
Total agua consumida (ml)	238 804,6	120 980	236 699,6	238 804,6

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

3.3.5 Consumo de Energía

El consumo de energía que requiere cada sistema CIP se muestra en la Tabla 15. Los valores fueron calculados considerando el tiempo de funcionamiento de los equipos y el requerimiento energético del evaporador y caldero, a excepción del proceso CIP 2, en el cual se no se utilizó el caldero.

El proceso CIP 2 solo requiere de 5,87 Kw-h de energía total para ejecutarse, debido a que es el único proceso que no utiliza calor en la fase de Pre-Enjuague, el cual demanda 10,24 Kw-h.

Tabla 15. Consumo de energía promedio de procesos CIP (Kw-h)

ETAPA	CIP1	CIP2	CIP3	CIP4
<i>Descarga</i>	0.15	0.15	0.15	0.15
<i>Pre-enjuague</i>	10.24	0.34	10.24	10.24
<i>Fase Alcalina</i>	0.87	0.87	0.87	0.87
<i>Enjuague Intermedio</i>	0.99	1.88	0.74	0.99
<i>Fase Ácida</i>	0.87	0.87	0.87	0.87
<i>Enjuague Final</i>	0.99	1.75	1.12	0.99
ENERGÍA TOTAL (KW-h)	<u>14.13</u>	<u>5.87</u>	<u>14.00</u>	<u>14.13</u>

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Los valores promedios de consumo de energía, agua e insumos de limpieza calculados fueron requeridos para la estimación de los costos de operación de cada sistema de limpieza.

3.4 Establecimiento de Procesos CIP

En esta sección se realiza un análisis no paramétrico mediante la prueba Kruskal-Wallis para interpretar la significancia del BTDS23_L sobre las variables respuestas: remoción de partículas, consumo de agua y consumo de energía.

A continuación, en la Tabla 16 se muestran los datos que se analizaron con Minitab 17.

Tabla 16. Datos evaluados

Proceso	CIP 1	CIP 2	CIP 3	CIP 4
Remoción de sólidos (Á)	1,0715	0,871		
	1,121	0,8905		
	1,128	0,877		
Energía consumida (Kw-h)	14,13	7,52	14,13	14,13
	14,13	4,23	13,87	14,13
Agua consumida (ml)	238805	148605	238845	238805
	238805	93355	234555	238805

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

En la Tabla 17 se muestran los valores p obtenidos para cada análisis de acuerdo a lo estipulado en la Tabla 7. El valor p indica si existe diferencias significativas entre los procesos analizados a un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Para el análisis de remoción de partículas sólidas, se analizaron tres muestras para el proceso CIP 1 y tres muestras para el proceso CIP 2. Se encontró que existen diferencias significativas ($p=0,050$) entre ambos procesos. Debido al valor p obtenido se rechazó H_0 , lo cual indica que existe al menos una mediana diferente de los valores de remoción de partículas entre los procesos CIP1 y CIP2.

En el diagrama de cajas del análisis de remoción de sólidos (Apéndice 6) se puede observar que el rango en el que se encontraron las muestras tomadas del CIP 1 no coincide con las muestras del CIP 2, destacando la diferencia significativa.

Para el análisis de consumo de agua se evaluaron los cuatro procesos, tal que para cada uno se consideraron dos muestras. En esta prueba se obtuvo un valor $p=0,209$, por lo que no existe suficiente evidencia estadística para rechazar hipótesis H_0 . Las medianas del total de consumo de agua (ml) necesarios para la operación de los procesos CIP 1, CIP 2, CIP3 Y CIP4 son iguales.

Por otro lado, a pesar que no se encontraron diferencias significativas, en el diagrama de cajas del CIP 2 (Apéndice 6) se reveló que el rango de las muestras se encuentra fuera del rango de las muestras del CIP 1, CIP 3 y CIP 4. Además, se evidencia una mayor variabilidad de consumo de agua en el CIP 2, en contraste a los otros tres procesos CIP mencionados.

En el análisis de consumo de energía se compararon las medianas de los cuatro procesos, cada uno con dos muestras, y, también se evidenció que no existen diferencias significativas $p=0,116$. Es decir que las medianas de los procesos CIP1, CIP2, CIP3 y CIP4 respecto al total de consumo de energía (Kw-h) necesarios para la operación son iguales.

Así mismo, se observa en el diagrama de cajas sobre el consumo de energía de los procesos CIP 1, CIP2, CIP3 y CIP4 muestra un similar patrón al del consumo de agua. Es decir, que el consumo de energía en el proceso CIP 2 no se encuentra dentro del rango de los otros procesos CIP, pero sí presenta mayor variabilidad.

Tabla 17. Resumen de Análisis no paramétrico Kruskal Wallis

Variable respuesta	Valor p*
Remoción de Partículas	0.050
Consumo de Agua	0.209
Consumo de Energía	0.116
*Valores obtenidos con un nivel de significancia $\alpha=0,05$	

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Estos resultados evidenciaron estadísticamente que el proceso CIP 2 removi6 menos cantidad de s6lidos que el CIP 1; sin embargo, debido a los escasos datos obtenidos, no se puede establecer estadísticamente que existan diferencias significativas en el consumo de energa y consumo de agua entre los procesos CIP 1, CIP 2 CIP 3 y CIP 4.

A pesar que no se encontraron diferencias significativas, se tom6 en consideraci6n los resultados observados en el diagrama de cajas para la estimaci6n de costos y demostrar el ahorro econ6mico de este proceso en comparaci6n a los dem6s procesos.

3.5 Resultados de Costos Proceso CIP

3.5.1 Resultados de Costos BTDS23_L

Dentro de este apartado, se estimó el costo de fabricación del compuesto BTDS23_L; y el costo total de operación anual de cada uno de los procesos CIP.

Estimación de costos de fabricación de BTDS23_L

En primer lugar, es importante recalcar que el estado del biotensoactivo incorporado a cada uno de los procesos CIP fue líquido y fue elaborado a partir de un biotensoactivo sólido, cuyo proceso de producción se encuentra detallado en el apartado 2.1.3. El biotensoactivo tiene un costo unitario de \$1,09/Kg, valor cotizado por el CIBE. En la Tabla 18 se muestra la estimación del costo del biotensoactivo líquido BTDS23_L, calculado a partir de 400 mg de biotensoactivo sólido, 5 ml de etanol y 495 ml de agua para la producción de 500 ml de BTDS23_L. El costo estimado del BTDS23_L fue de \$0,875/L.

Tabla 18. Costo de biotensoactivo líquido BTDS23_L

Materia Prima	Costo Unitario	Cantidad	Costo 500ml solución
<i>Biotensoactivo</i>	\$1.09 / kg	400 mg	\$0.4360
<i>Etanol</i>	\$0.90 / L	5 ml	\$0.0045
<i>Agua</i>	\$0.00163 / L	495 ml	\$0.00080685
Subtotal (500ml BTDS23 _L)			\$0.4413
Total (\$/L)			\$0.875/ L

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

3.5.2 Costos de Operación de Procesos CIP

Para la estimación de costos de operación de limpieza se planteó en cada proceso el escenario de realizar una limpieza CIP de 5 etapas con frecuencia semanal. Los costos directos para cada proceso corresponden a los costos de insumos de limpieza, agua, energía y diésel si aplica. Mientras que los costos indirectos fueron calculados asignando un 5% del total del costo directo. El costo de operación comprende de todos los rubros incurridos en el proceso, que es la suma de los costos directos e indirectos.

En la Tabla 19 se muestra el detalle de costos operacional asociados a los procesos CIP. A pesar que el proceso CIP 2 destina mayor inversión en los insumos de limpieza, genera el menor costo de operación, debido a que no requiere del gasto en diésel, y su consumo energético y de agua es menor. Se observa que el CIP 1 fue el proceso más costoso con una estimación anual de \$187,48.

Tabla 19. Detalle de costos asociados a los procesos CIP (\$/año)

DETALLE	CIP 1	CIP2	CIP3	CIP4
Costos Directos (\$)				
<i>Total Insumos Limpieza</i>	\$ 77.29	\$89.89	\$65.93	\$43.20
<i>Agua</i>	\$ 18.68	\$9.47	\$18.52	\$18.68
<i>Energía</i>	\$ 62.31	\$25.89	\$61.75	\$62.31
<i>Diésel</i>	\$20.26	-	\$20.26	\$20.26
Total Costos Directos	\$178.55	\$125.25	\$166.46	\$144.46
Costos indirectos				
<i>Imprevistos</i>	\$8.93	\$6.26	\$8.32	\$7.22
Total Costos Indirectos	\$8.93	\$6.26	\$8.32	\$7.22
Total Costo Operación (\$/Año)	<u>\$187.48</u>	<u>\$131.52</u>	<u>\$174.79</u>	<u>\$151.68</u>

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Para determinar el ahorro estimado por incorporación del BTDS23_L en los diferentes procesos, se realizó una equivalencia porcentual, tal que el CIP 1 equivale al 100% por ser considerado como punto de control. En la Tabla 20 se muestra que el proceso CIP 2 tuvo una equivalencia del 70.85%, por ende, representó un ahorro de 29,85% de costos totales al año. Mientras que los procesos CIP 3 y CIP 4 representaron un ahorro de 6,77% y 19,10%, respectivamente.

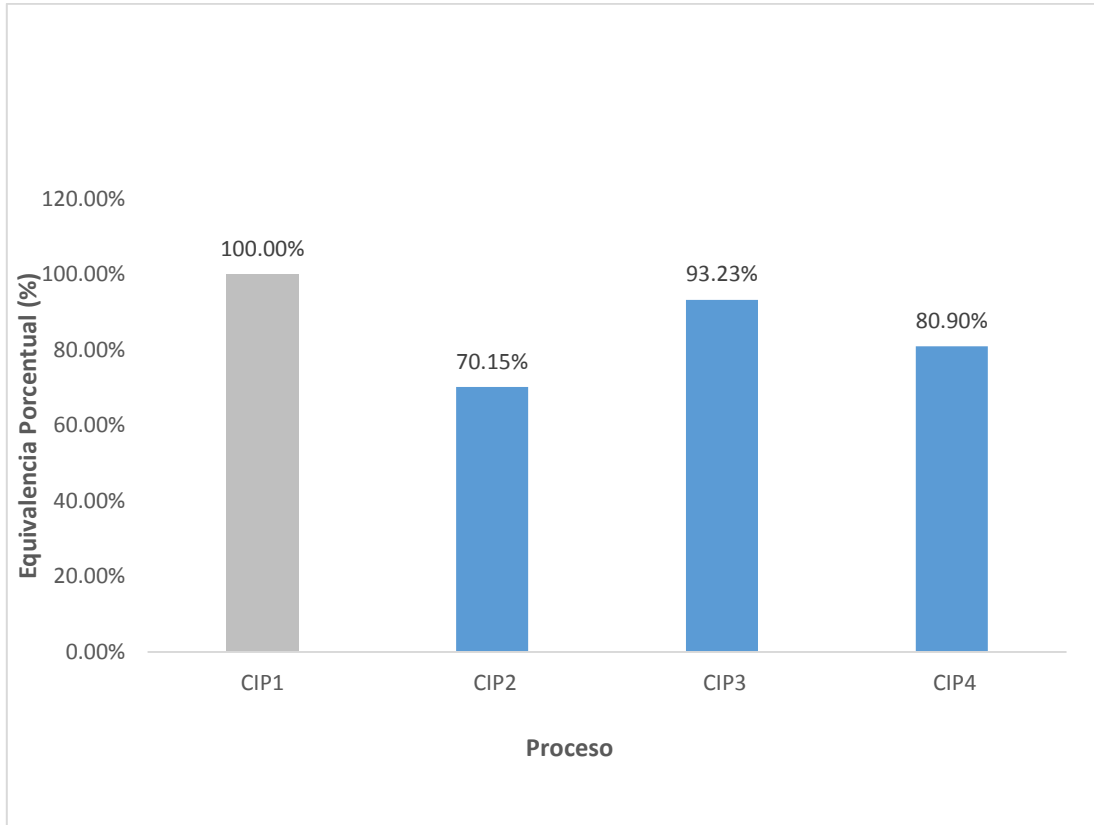
Tabla 20. Equivalencia porcentual de los costos de operación de los procesos CIP

Proceso	CIP1	CIP2	CIP3	CIP4
Costo Operación	\$187,48	\$131,52	\$174,79	\$151,68
Equivalencia Porcentual	100,00%	70.15%	93.23%	80.90%

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Las equivalencias porcentuales de cada proceso CIP fueron representados en la Figura 3.2 mediante un gráfico de barras.

Figura 3.2. Equivalencia porcentual de costos operativos totales



Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

Por último, se resume en la siguiente Tabla 21 la equivalencia porcentual del consumo de recursos que se requiere para la ejecución de cada proceso CIP, considerando el planteamiento de CIP 1 como punto control. Estos valores son representados gráficamente en la Figura 3.3.

Tabla 21. Equivalencia porcentual consumo recursos

DETALLE	CIP 1	CIP 2	CIP 3	CIP 4
Químico (ml)	100.0%	100.0%	72.46%	34.8%
Agua (ml)	100.0%	50.66%	99.12%	100.0%
Energía (kw-h)	100.0%	41.56%	99.10%	100.0%
Dinero (\$)	1000%	70.15%	93.23%	80.90%

Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

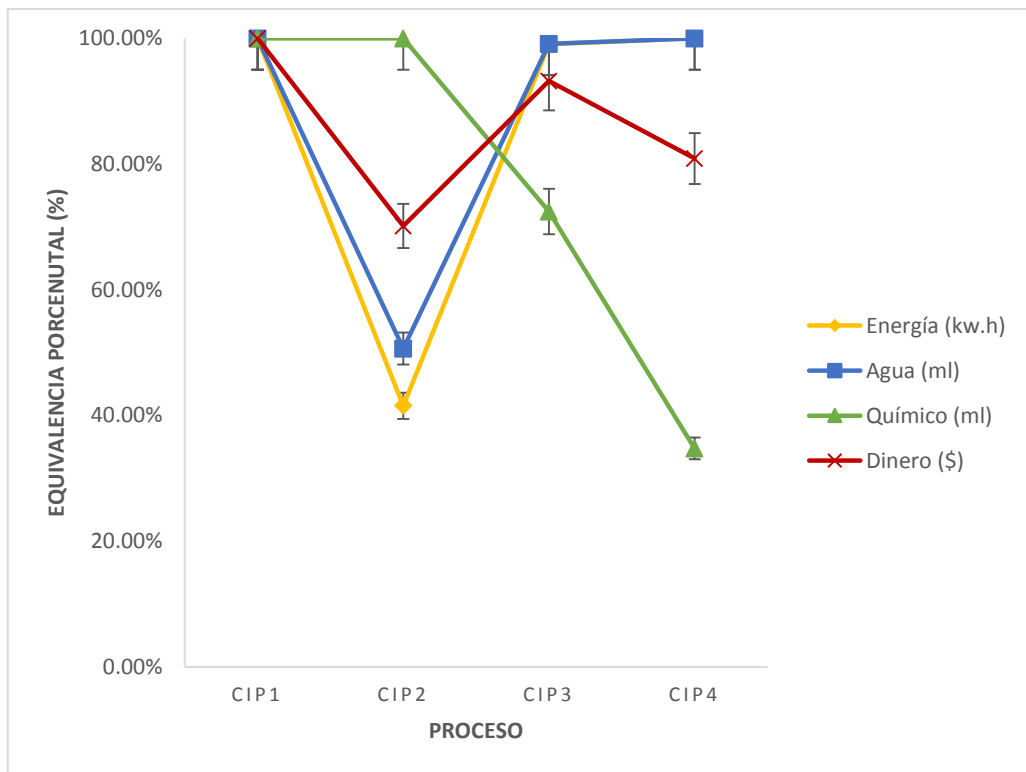
A continuación, se observa la influencia del consumo de energía, agua y productos de síntesis química sobre el total de costos de operación para cada proceso CIP.

Se muestra gráficamente que el ahorro en consumo de agua y energía en el CIP2 genera un ahorro de casi el 30% del total de costos de operación.

Por otro lado, a pesar que en el CIP 3 y CIP 4 hubo una reducción de 25% y 75% respectivamente en el consumo total de productos químicos, el ahorro en costos no fue característico como el del CIP 2, debido al alto consumo en energía y agua.

Esto revela que el uso de calor en la etapa de Pre-Enjuague predomina en la generación de costos.

Figura 3.3. Equivalencia Porcentual Consumo Recursos



Elaborado por: Gina Centanaro y Maité Vareles, 2017

CAPITULO 4

4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 DISCUSIÓN

En este proyecto, se observó inicialmente que el proceso CIP 1 sostuvo resultados satisfactorios en función de capacidad de remover partículas sólidas, utilizando el valor de turbidez frente al proceso CIP 2. No obstante, cuando se evaluaron los cuatro procesos se reveló que la incorporación del compuesto BTDS23L en el proceso CIP 2 logra menor consumo de agua (50,66%) y energía eléctrica (41,56%), lo cual genera un ahorro de 29,85% en costo de operación anual de limpieza CIP en línea de producción de leche. Dichos resultados son de carácter importante, ya que para una planta procesadora de leche se requiere de la mitad de la energía para las operaciones de limpiezas en líneas de procesamiento y equipos, lo cual significa que los resultados de este proyecto pueden situarse en dicha oportunidad de mejora (Jude & Lemaire, 2013).

Por otro lado, en el estudio de Ibrahim Palabayik se buscó optimizar el consumo de agua y energía mediante la combinación de temperaturas (20°C y 70°C) durante una limpieza CIP. (Palabayik, Tahsin, Fryer, & Robbins, 2015). Por lo tanto, es posible variar las condiciones de operación para el diseño de un proceso CIP amigable con el medio ambiente.

El principal objetivo del sistema CIP es la eliminación de residuos y limpieza del equipo para evitar futuras contaminaciones. Esto quiere decir que la reducción del tiempo de operación, de consumo de energía, de agua y de químicos no convierte a un proceso CIP necesariamente eficiente. (Jude & Lemaire, 2013). A pesar de que en sistemas modernos CIP, la verificación de la limpieza se puede realizar durante su ejecución mediante pruebas de luminiscencia o uso de softwares que lo monitoreen continuamente, en el presente proyecto se realizó una verificación mediante el análisis de aerobios mesófilos y coliformes totales en el enjuague final de cada proceso CIP. Como resultado, se obtuvo una reducción mayor al 99,5% para aerobios mesófilos, y reducción del 100% de coliformes totales en todos los procesos establecidos, cumpliendo con la norma técnica peruana 461-2017-MINSA. Por lo tanto, los cuatro sistemas CIP cumplen con su objetivo, dado que el criterio microbiológico de los procesos mencionados no se diferenció al incorporar el compuesto BTDS23L.

En la actualidad surge la necesidad de obtener nuevas formulaciones de químicos que alcancen fácilmente el grado de limpieza deseada. La preocupación de las industrias es que esta vía resulta más costosa. No obstante, el compuesto BTDS23L tiene un costo unitario de \$0,875/L, 4,6 veces menor del costo por litro de DIVOSAN TC 86. Claramente se evidencia que en el proceso CIP 2 se genera un costo mayor de insumos de limpieza puesto al requerimiento del compuesto BTDS23L más la misma cantidad de químicos que necesita el CIP 1. Sin embargo, autores revelan que la implementación de soluciones eco-amigables promueve la eliminación de químicos destructivos, reducción de energía, agua y tiempo para la operación de limpieza. (Jude & Lemaire, 2013). Esta manifestación apoya los resultados obtenidos en cuanto al ahorro de agua y energía en este proyecto.

4.2 CONCLUSIONES

Se diseñó un CIP estándar denominado CIP1 con los siguientes parámetros: fase pre-enjuague 60°C por 6 minutos; fase alcalina 2% v/v de detergente alcalino DIVOSAN TC 86 a temperatura ambiente durante 15 minutos; y fase ácida 0.3 % v/v de detergente ácido DIVOSAN MH a temperatura ambiente por 15 minutos. En todas las fases se empleó un flujo de 17L/h utilizando la bomba de vacío y un flujo de 8L/min utilizando la bomba CIP.

Se logró rediseñar el proceso CIP1 sustituyendo en la fase de pre-enjuague el empleo de temperatura por la incorporación de BTDS23L a una concentración de 2% v/v (CIP2); y en la fase alcalina a una relación de 3:1 DIVOSAN TC86 - BTDS23L (CIP3), y a una relación de 1:3 DIVOSAN TC86 - BTDS23L (CIP4). Se comprobó microbiológicamente que estas modificaciones fueron eficaces.

Para proceso CIP 1, el cual es un proceso convencional, se estimó un costo operacional anual de \$187,48. Mientras que, para el CIP2, por generar una disminución de agua, energía y combustible se calculó un costo aproximado de \$131,52 anual. El CIP 3 por tener una reducción del 25% de DIVOSAN TC 86 tuvo un costo anual de \$174,79; y, finalmente la sustitución del DIVOSAN TC 86 en 75% por BTDS23L en el CIP4 su valor estimado fue \$151,68 anual.

A pesar que el proceso CIP 2 tuvo menor porcentaje de remoción de sólidos que el CIP 1, resultó favorable en cuanto al ahorro en consumo de agua, de energía y total de costos de operación en un 49.34%, 58.44%, y 29.85%, respectivamente. Mediante los análisis estadísticas realizados no se obtuvo suficiente evidencia estadística para indicar si existe diferencia significativa entre los procesos en ahorro de consumo de agua y energía.

Por lo tanto, se logró diseñar un proceso CIP eco-amigable al que se denominó CIP 2 incorporando biotensoactivo (BTDS23L) para un evaporador de película ascendente de una línea de producción de leche evaporada.

4.3 RECOMENDACIONES

- Se sugiere implementar un sistema automatizado mediante el uso de dilutores que permitan la preparación de la solución, así como de controladores de parámetros de flujo y temperatura para mejorar su operación.
- Además, puede incrementarse el ahorro de agua y productos químicos mediante la construcción de tanques que permitan la recuperación y recirculación de los fluidos.
- Con el estudio realizado se pudo determinar que el CIP 2 obtuvo mejor desempeño con las variables de estudio, lo cual brinda la oportunidad de realizar un escalado del proceso a nivel industrial, modificando sus tiempos, concentraciones, flujos, entre otros parámetros operativos; que permitan precisar iguales o mejores resultados mediante un análisis estadístico.
- El proceso CIP 4 tiene la ventaja de reducir el consumo de productos de síntesis química en un 75%, por lo que se propone realizar un estudio en el cual se pueda determinar en la fase alcalina la relación óptima de DIVOSAN TC 86 y BTDS23L en función del consumo de agua y de energía, además de considerar en primera instancia la eficacia microbiológica.

BIBLIOGRAFÍA

- Armfield. (2013). Rising Film Evaporator Instruction Manual, (8), 5.
- CEPAL. (2012). Diagnóstico de las estadísticas del Agua en Ecuador.
- codex. (2003). GENERAL PRINCIPLES OF FOOD HYGIENE, 1–31.
- FAO. (1996). Producción de alimentos e impacto ambiental. Roma: FAO.
- General Services Administration. (2016). *Types Of Cleaning Detergents* (No. 451007G). *Floor Maintenance Materials: Their Choice & Uses/Edwards*.
- Hardy Diagnostics. (1996a). Instructions for Use COMPACT DRY™ EC.
- Hardy Diagnostics. (1996b). Instructions for Use COMPACT DRY™ TC.
- Jude, B., & Lemaire, E. (2013). How to Optimize Clean-in-Place (CIP) Processes in Food and Beverage Operations. *Schneider Electric White Paper*.
- Lelieveld, H. L. M., Mostert, M. A., & Holah, J. T. (2005). *Handbook of hygiene control in the food industry*. CRC Press.
- Litecka, J. (2016). The Design of Innovative CIP Machine for Heat Exchangers. *Procedia Engineering*, 149(June), 269–275. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.666>
- Madigan, M. T. (2009). *Brock: Biología de los Microorganismos*. (P. E. S.A, Ed.) (Duodécima). Madrid: Pearson Addison Wesley.
- Md, F. (2012). Biosurfactant: Production and Application. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 3(4). <http://doi.org/10.4172/2157-7463.1000124>
- Mejía, J., & Castillo, P. (2008). *Estudio del Efecto de los Parámetros de Proceso en los Rendimientos y Calidad Sensorial del Jugo de Babaco Concentrado en un Evaporador de Película Ascendente*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Moerman, F., Rizoulières, P., & Majoor, F. A. (2014). *Cleaning in place (CIP) in food processing*. *Hygiene in Food Processing*. Woodhead Publishing Limited. <http://doi.org/10.1533/9780857098634.3.305>
- OMS. (2017). Agua. Retrieved from <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- PAHO. (2016). Establecimiento: mantenimiento, limpieza y desinfección.
- Palabiyik, I., Tahsin, M., Fryer, P. J., & Robbins, P. T. (2015). Minimising the environmental footprint of industrial-scaled cleaning processes by optimisation of a novel clean-in-place system protocol. *Journal of Cleaner Production*, 108, 1009–1018. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.114>
- Romney, A. J. D. (1990). CIP: cleaning in place. *CIP: Cleaning in Place*, 224. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00447-5>
- Tamime, A. Y. (2008). *Cleaning-in-place : dairy, food and beverage operations*. Blackwell Pub.

APÉNDICE

Apéndice 1. Entrevista para recopilación de Productos de Limpieza

Nombre Entrevistado	
Fecha	
Lugar	

Tema

- Proceso de Limpieza en Planta de Lácteos
- Limpieza CIP y Productos Químicos DIVERSEY
- Uso de Equipo. Especifique: caldero evaporador otro

Preguntas Limpieza CIP y Productos Químicos DIVERSEY

1. ¿Cuáles son los problemas frecuentes encontrados en un sistema CIP y cómo evitarlos?
2. ¿Experimentalmente, cómo se definen los parámetros de un proceso CIP?
3. ¿Cuáles son los métodos de verificación para un proceso CIP?
4. ¿Qué productos recomienda Diversey para limpiar una línea de lácteos? ¿Por qué? (Solicitar ficha técnica)
 - a. Alcalino
 - b. Ácido
 - c. Desinfectante
5. ¿Cuáles son los parámetros recomendados de aplicación?
6. ¿Cuál es el costo del producto y cuál es su presentación comercial?
7. ¿Qué precauciones deben tomarse para el manejo de los químicos?

Apéndice 2. Entrevista para recopilación de especificaciones técnicas de equipamiento

Nombre Entrevistado	
Fecha	
Lugar	

Tema

- Proceso de Limpieza en Planta de Lácteos
- Limpieza CIP y Productos Químicos DIVERSEY
- Uso de Equipo. Especifique: caldero evaporador otro

Preguntas Uso de Equipos

1. ¿Cuáles son los recursos que requiere el equipo?
2. ¿Cómo se opera el equipo? (Solicitar manual de uso)
3. ¿Cuáles son las precauciones que se deben considerar en su manejo?

Apéndice 3. Entrevista para recopilación de datos de producción de leche

Nombre Entrevistado	
Fecha	
Lugar	

Tema

- Proceso de Limpieza en Planta de Lácteos
- Limpieza CIP y Productos Químicos DIVERSEY
- Uso de Equipo. Especifique: caldero evaporador otro

Preguntas Proceso de Limpieza en Planta de Lácteos

1. ¿Cuáles son los productos que realizan en la empresa?
2. ¿Cómo es el proceso de elaboración de estos productos? (Solicitar diagrama de flujo)
3. ¿Cómo realizan su proceso de limpieza post - operativa? ¿Cuáles son los pasos? (Indicar Parámetros)
 - a. Flujo
 - b. Temperatura
 - c. Tiempo (por etapa y total)
 - d. Concentración Químico
4. ¿Cuáles son los químicos que utilizan para la limpieza? (Solicitar ficha técnica)
5. ¿Cuánto invierten en químicos de limpieza?
6. ¿Cuál método emplean para la liberación de equipos después de su limpieza?
7. ¿Realizan validación microbiológica? ¿Cuál es la norma en la que se apoyan? (Solicitar indicadores de higiene)

Apéndice 4. Manual de Operación y Diagramas de Flujo Proceso CIP 1, CIP 2, CIP 3 y CIP 4

Manual de Limpieza para Evaporador de Película Ascendente ARMFIELD FT22 (CIP 1)

Fase 1: Remoción de leche

Descarga mayor

Realizar la descarga del producto concentrado y los condensados, abriendo las válvulas V9 y V10, respectivamente. Después eliminar de las tuberías el resto del producto abriendo las válvulas V5, V17 y V11. Finalmente cerrar todas las válvulas.

Descarga menor

Llenar el tanque de alimentación con 15L de agua, y encender la bomba de vacío. Abrir completamente las válvulas V1, V3 y V8. Esperar hasta llenar 5L el tanque de producto concentrado. Cerrar las válvulas V8, V1, V3 y apagar la bomba de vacío. Encender bomba CIP y abrir las válvulas V4, y V2, y cuando se regularice el flujo abrir las válvulas V5, V6 y V7, esperar hasta llenar el tanque de los condensados con 5L. Apagar la bomba CIP una vez que se consumieron los 15L de agua y descargar el agua contenida en los tanques mediante la apertura de las válvulas V9 y V10.

Fase 2: Fase de limpieza

1) Pre – enjuague

En esta fase se requiere el uso de vapor, abrir la válvula de paso de vapor PRV1 y la válvula de agua enfriamiento V12 hasta alcanzar un flujo de 6.5L/h. Cerrar la perilla de Control de Vacío y encender la bomba de vacío. Utilizar agua a 60°C con las válvulas V1, V3 y V8 completamente abiertas durante 3 minutos. Apagar bomba de vacío y encender la bomba CIP, abrir las válvulas V4, y V2, y cuando se regularice el flujo abrir las válvulas V5, V6 y V7 para permitir su recirculación

manteniendo V9 y V10 abiertas por 3 minutos. Al finalizar el pre – enjuague, apagar la bomba CIP y descargar el agua abriendo V17. Cerrar por último todas las válvulas incluyendo PRV1 y V12.

2) Fase Alcalina (Divosan TC86)

En esta fase llenar el tanque de alimentación con 15L de solución alcalina al 2% v/v. Para iniciar, cerrar la perilla de Control de Vacío y encender la bomba de vacío. Abrir completamente las válvulas V1, V3 y V8 y recircular la solución alcalina por las tuberías durante 3 minutos, cerrar V8 cuando el tanque del producto concentrado alcance 5L en su capacidad. Apagar la bomba de vacío y descargar el contenido al tanque de alimentación mediante la ayuda de las válvulas V9 y V10. Encender la bomba CIP y abrir las válvulas V4, y V2, y cuando el flujo se regularice abrir las válvulas V5, V6 y V7, recircular la solución alcalina en todo el sistema durante 12 minutos. El tiempo total de aplicación de detergente alcalino es de 15 minutos. Al finalizar se descarga la solución abriendo V17 y se cierran todas las válvulas.

3) Enjuague intermedio

Cargar inicialmente el tanque de alimentación con agua, cerrar la perilla de control de vacío y encender la bomba de vacío. Abrir completamente las válvulas V1, V3 y V8 hasta llenar el tanque de productos concentrados con 5L. Luego, cerrar las válvulas V8, V1, V3 y apagar la bomba de vacío. Encender la bomba CIP y abrir las válvulas V4, y V2, cuando el flujo se regularice abrir las válvulas V5, V6 y V7 hasta llenar el tanque de productos condensados con 5L. Apagar la bomba CIP cada vez que los tanques alcanzaron su capacidad y descargar el contenido abriendo las válvulas V9 y V10. Este proceso se repite hasta comprobar de manera visual y por reacción química, la ausencia de partículas de leche y viraje del medio con fenolftaleína respectivamente.

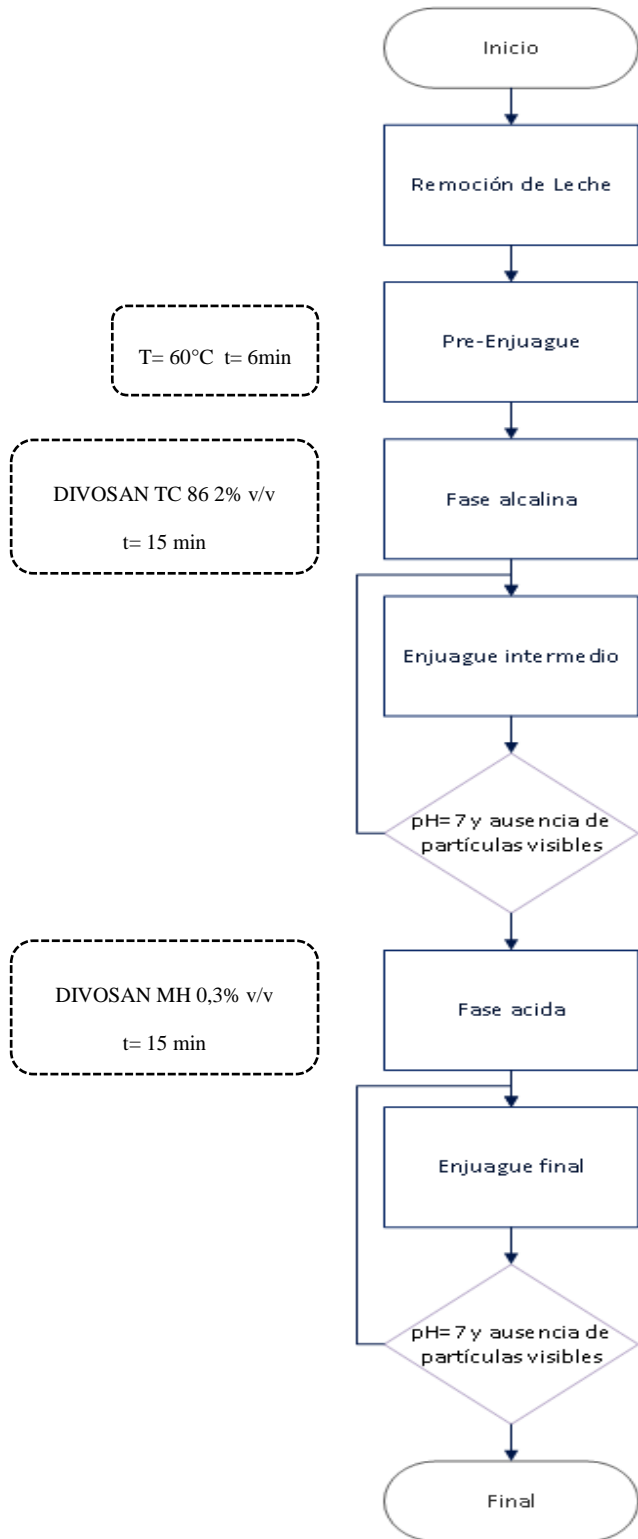
4) Fase ácida (Divosan MH)

En esta fase llenar el tanque de alimentación con 15L de solución ácida al 0.3% v/v. Para iniciar, cerrar la perilla de Control de Vacío y encender la bomba de vacío. Abrir completamente las válvulas V1, V3 y V8 y recircular la solución alcalina por las tuberías durante 3 minutos, cerrar V8 cuando el tanque del producto concentrado alcance 5L en su capacidad. Apagar la bomba de vacío y descargar el contenido al tanque de alimentación mediante la ayuda de las válvulas V9 y V10. Encender la bomba CIP y abrir las válvulas V4, y V2, y cuando el flujo se regularice abrir las válvulas V5, V6 y V7, recircular la solución ácida en todo el sistema durante 12 minutos. El tiempo total de aplicación de detergente ácido es de 15 minutos. Al finalizar se descarga la solución abriendo V17 y se cierran todas las válvulas.

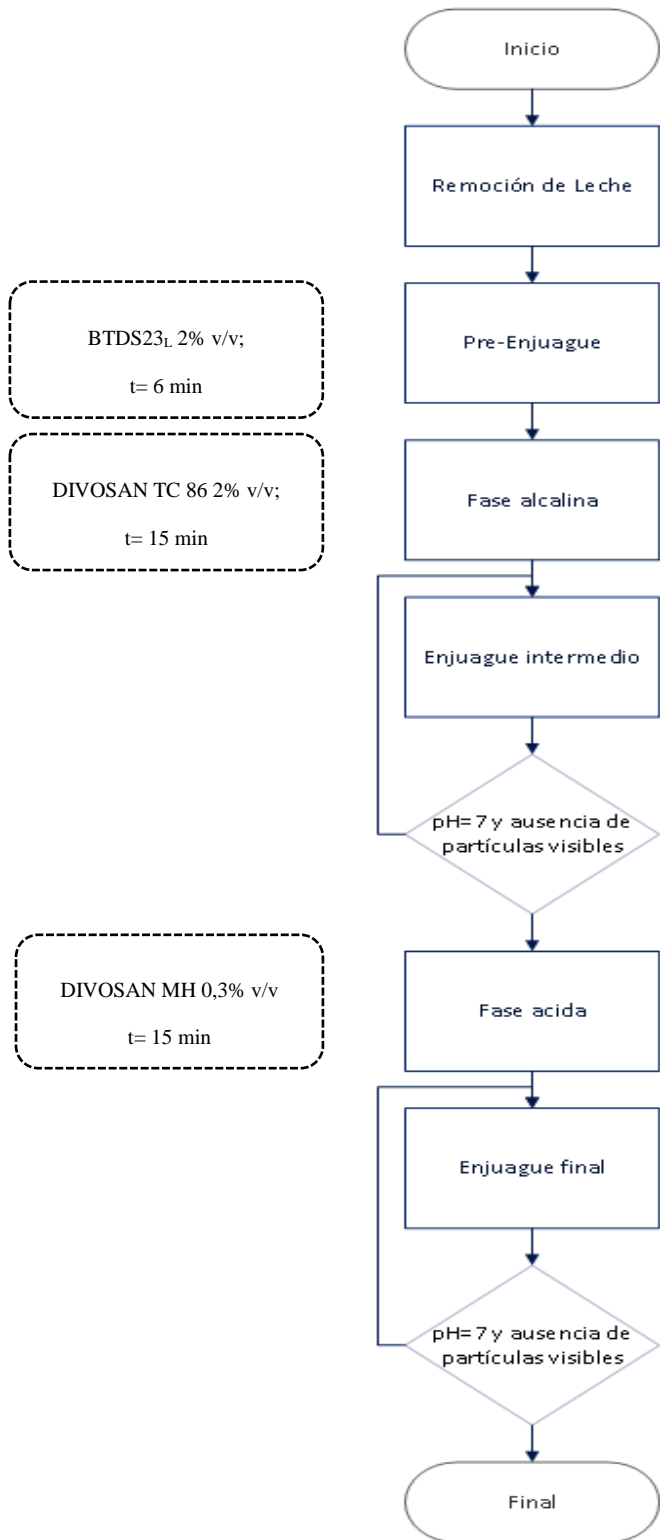
5) Enjuague final

Cargar inicialmente el tanque de alimentación con agua, cerrar la perilla de control de vacío y encender la bomba de vacío. Abrir completamente las válvulas V1, V3 y V8 hasta llenar el tanque de productos concentrados con 5L. Luego, cerrar las válvulas V8, V1, V3 y apagar la bomba de vacío. Encender la bomba CIP y abrir las válvulas V4, y V2, cuando el flujo se regularice abrir las válvulas V5, V6 y V7 hasta llenar el tanque de productos condensados con 5L. Apagar la bomba CIP cada vez que los tanques alcanzaron su capacidad y descargar el contenido abriendo las válvulas V9 y V10. Este proceso se repite hasta comprobar por reacción química el viraje del medio con rojo metilo.

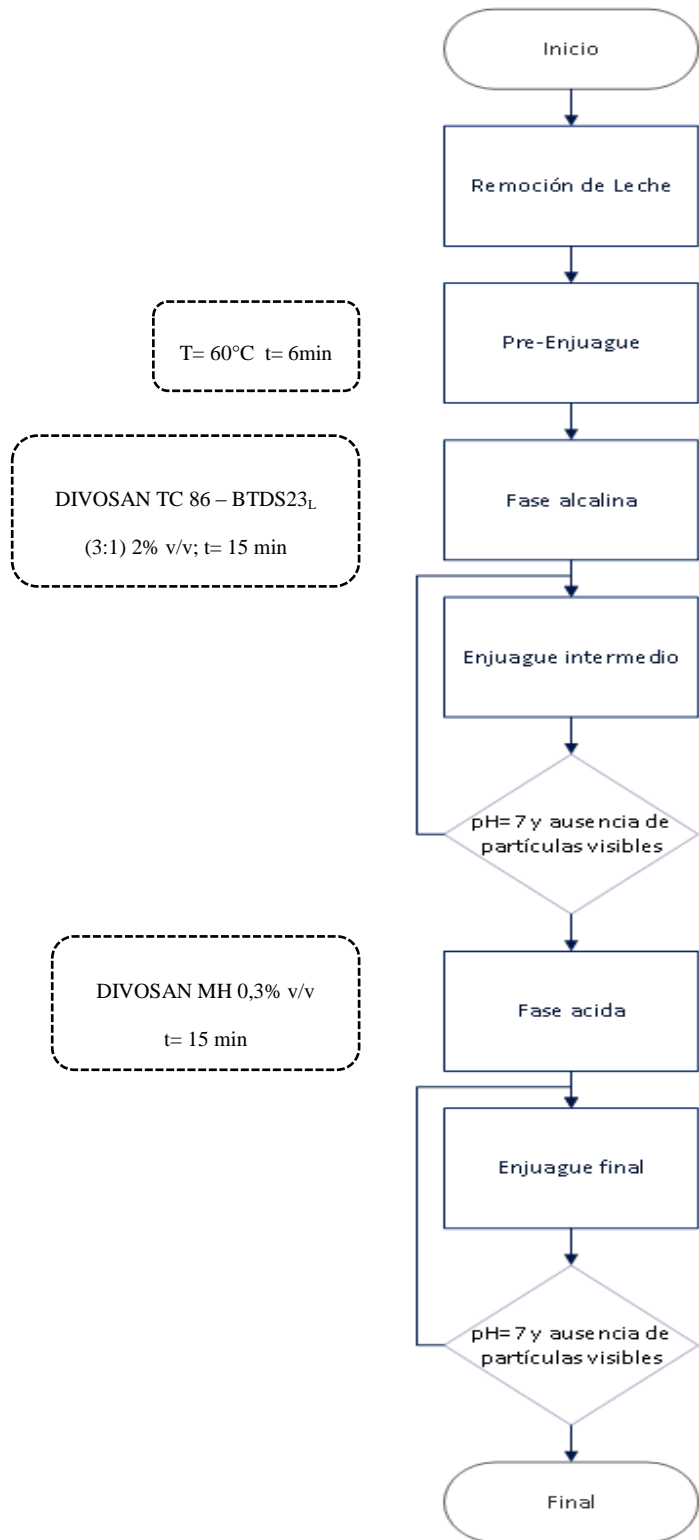
Flujograma del proceso CIP 1



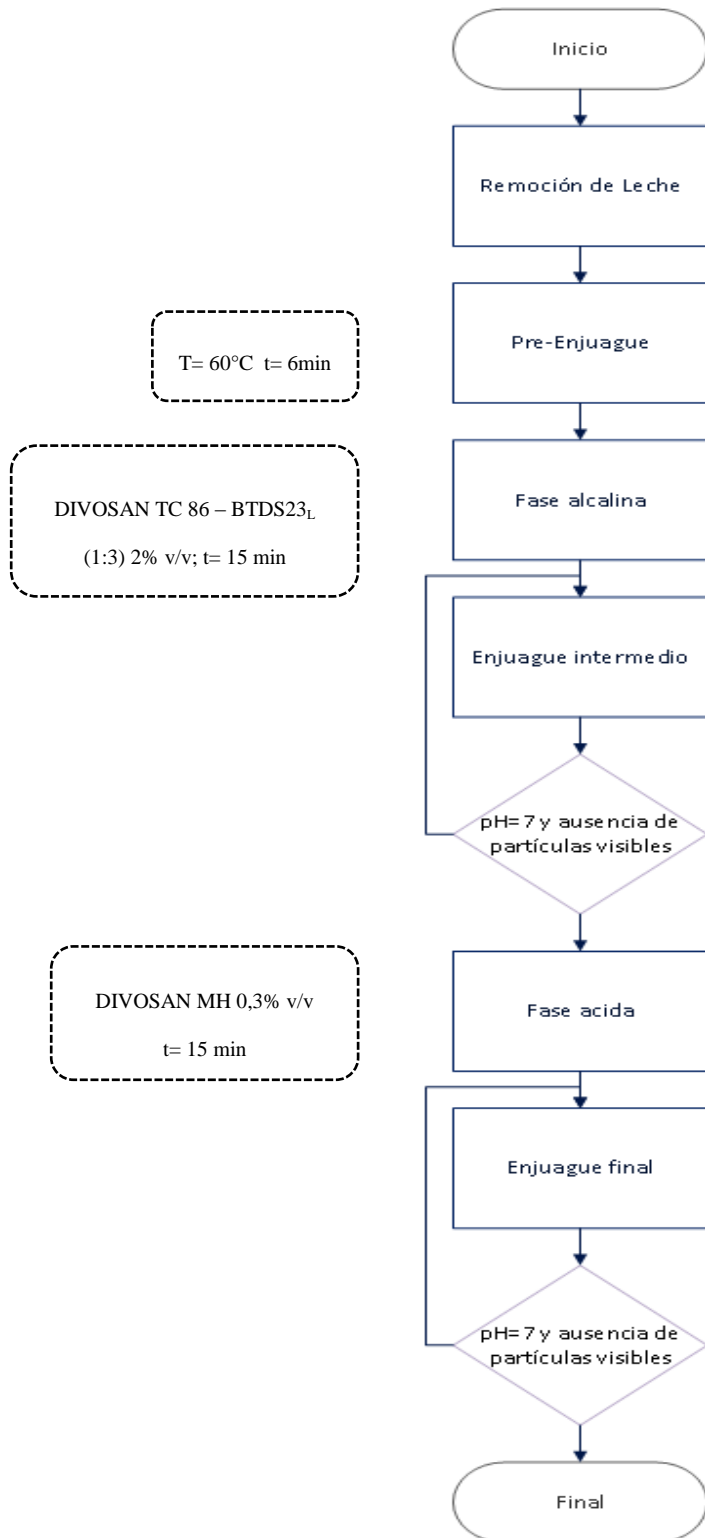
Flujograma del proceso CIP 2



Flujograma del proceso CIP 3



Flujograma del proceso CIP 4



Apéndice 6: Diagramas de Cajas de diferencia de Medianas

Diagrama de Cajas CIP 1 y CIP 2 – Remoción de sólidos

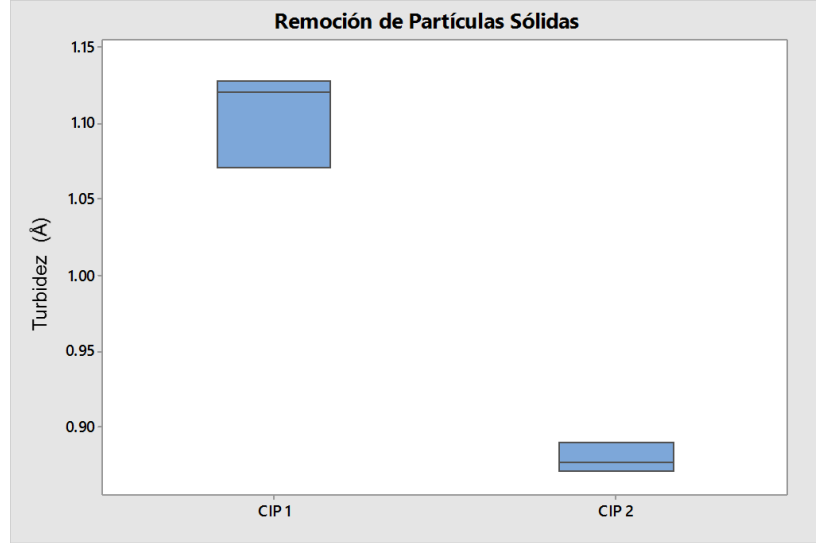


Diagrama de Cajas CIP 1 CIP 2 CIP 3 y CIP 4 – Consumo de agua

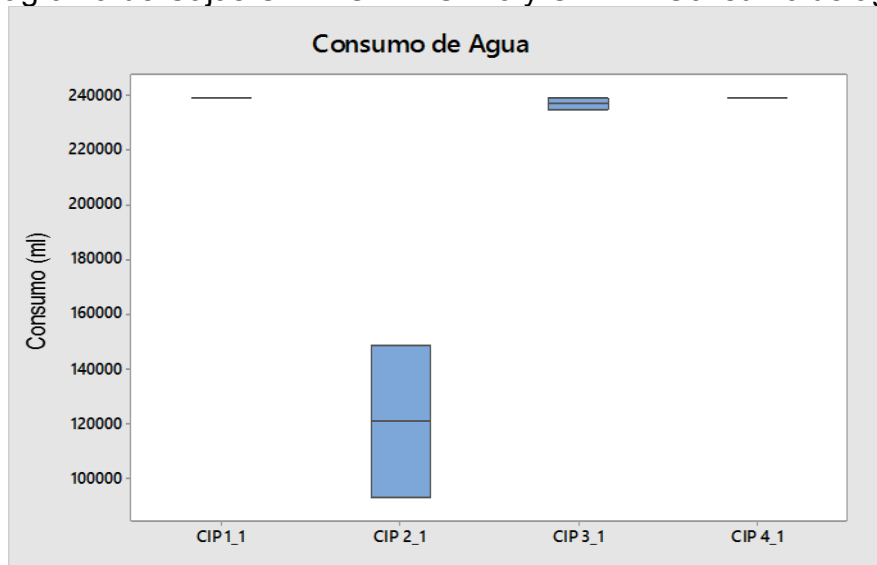
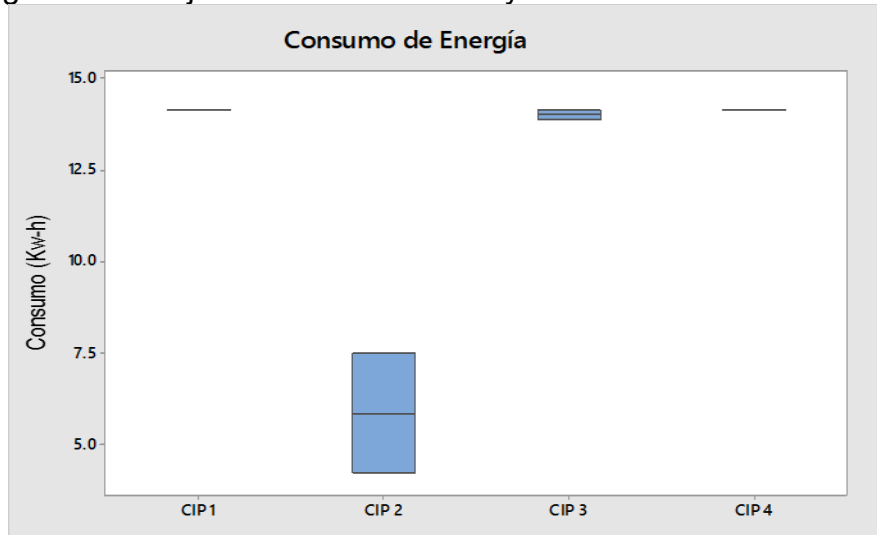


Diagrama de Cajas CIP 1 CIP 2 CIP 3 y CIP 4 – Consumo de energía



Apéndice 7: Detalle de Estimación de Costos por Proceso CIP

COSTOS DIRECTOS, COSTOS INDIRECTOS Y COSTOS OPERATIVOS DE PROCESO CIP 1

Costos directos CIP1						
<i>Costos directos</i>	Costo unitario	Unidad	Cantidad requerida	Unidad	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Insumos de limpieza						
BTDS23 _L	0,875	\$/L	0	ml	0	0
Divosan TC86	4,032	\$/L	300	ml	4,8384	58,0608
Divosan MH	8,904	\$/L	45	ml	1,60272	19,23264
Total Insumos de limpieza					6,44112	77,29344
Agua	0,00163	\$/L	238804,60	ml	1,6	18,7
Energía	0,0919	\$/Kw-h	14,1251125	Kw-h	5,192391355	62,30869626
Diesel	0,274768824	\$/L	1,54	L	1,688712871	20,26455446
Total costos directos				\$	\$14,88	\$178,55

Costos indirectos CIP1		
<i>Costos indirectos</i>	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Imprevistos	0,74	8,93
Total costos indirectos	\$0,74	\$8,93

Costos de fabricación CIP1		
<i>Costos de fabricación</i>	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Costos directos	\$14,88	\$178,55
Costos indirectos	\$0,74	\$8,93
Total costos de fabricación	\$15,62	\$187,48

**COSTOS DIRECTOS, COSTOS INDIRECTOS Y COSTOS OPERATIVOS DE
PROCESO CIP 2**

Costos directos CIP2						
<i>Costos directos</i>	Costo unitario	Unidad	Cantidad requerida	Unidad	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Insumos de limpieza						
BTDS23L	0,875	\$/L	300	ml	1,05	12,6
Divosan TC86	4,032	\$/L	300	ml	4,8384	58,0608
Divosan MH	8,904	\$/L	45	ml	1,60272	19,23264
Total Insumos de limpieza					7,49112	89,89344
Agua	0,00163	\$/ml	120980,0	ml	0,8	9,5
Energía	0,0919	\$/Kw-h	5,9	Kw-h	2,15785324	25,89423888
Total costos directos				\$	\$10,44	\$125,25

Costos indirectos CIP2		
<i>Costos indirectos</i>	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Imprevistos	0,52	6,26
Total costos indirectos	\$0,52	\$6,26

Costos de fabricación CIP2		
<i>Costos de fabricación</i>	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Costos directos	\$10,44	\$125,25
Costos indirectos	\$0,52	\$6,26
Total costos de fabricación	\$10,96	\$131,52

COSTOS DIRECTOS, COSTOS INDIRECTOS Y COSTOS OPERATIVOS DE PROCESO CIP 3

Costos directos CIP3						
<i>Costos directos</i>	Costo unitario	Unidad	Cantidad requerida	Unidad	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Insumos de limpieza						
BTDS23_L	0,875	\$/L	75	ml	0,2625	3,15
Divosan TC86	4,032	\$/L	225	ml	3,6288	43,5456
Divosan MH	8,904	\$/L	45	ml	1,60272	19,23264
Total Insumos de limpieza					5,49402	65,92824
Agua	0,00163	\$/ml	236699,60	ml	1,5	18,5
Energía	0,0919	\$/Kw-h	14,0	Kw-h	5,145875825	61,7505099
Diesel	0,27476 8824	\$/L	1,54	L	1,688712871	20,2645544 6
Total costos directos				\$	\$13,87	\$166,46

Costos indirectos CIP3		
<i>Costos indirectos</i>	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Imprevistos	0,69	8,32
Total costos indirectos	\$0,69	\$8,32

Costos de fabricación CIP3		
<i>Costos de fabricación</i>	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Costos directos	\$13,87	\$166,46
Costos indirectos	\$0,69	\$8,32
Total costos de fabricación	<u>\$14,57</u>	<u>\$174,79</u>

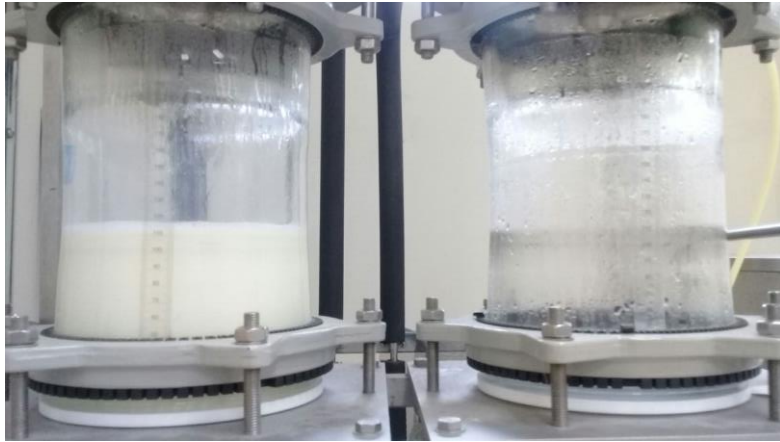
COSTOS DIRECTOS, COSTOS INDIRECTOS Y COSTOS OPERATIVOS DE PROCESO CIP 4

Costos directos CIP4						
<i>Costos directos</i>	Costo unitario	Unidad	Cantidad requerida	Unidad	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Insumos de limpieza						
BTDS23_L	0,875	\$/L	225	ml	0,7875	9,45
Divosan TC86	4,032	\$/L	75	ml	1,2096	14,5152
Divosan MH	8,904	\$/L	45	ml	1,60272	19,23264
Total Insumos de limpieza					3,59982	43,19784
Agua	0,00163	\$/ml	238804,6	ml	1,6	18,7
Energía	0,0919	\$/Kw-h	14,1	Kw-h	5,192391355	62,30869626
Diesel	0,274768824	\$/L	1,54	L	1,688712871	20,26455446
<i>Total costos directos</i>				\$	\$12,04	\$144,46

Costos indirectos CIP4		
<i>Costos indirectos</i>	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Imprevistos	0,60	7,22
<i>Total costos indirectos</i>	\$0,60	\$7,22

Costos de fabricación CIP4		
<i>Costos de fabricación</i>	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Costos directos	\$12,04	\$144,46
Costos indirectos	\$0,60	\$7,22
<i>Total costos de fabricación</i>	<u>\$12,64</u>	<u>\$151,68</u>

EJECUCIÓN DE PROCESO CIP





Gina Melissa Centanaro Landívar
gcentana@espol.edu.ec



Maité Paola Vareles Villagómez
mvareles@espol.edu.ec

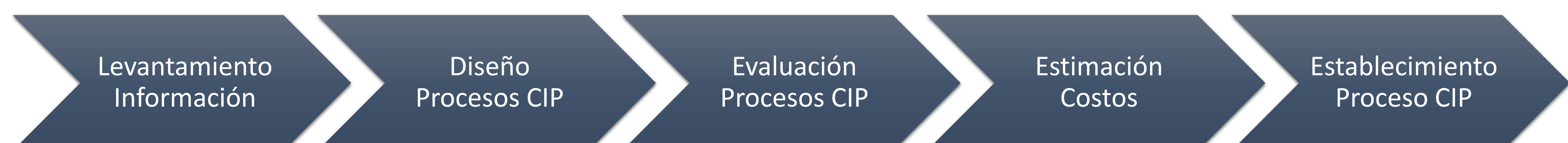
Diseño de un sistema de limpieza CIP utilizando tensoactivos de origen microbiano para una línea de producción de leche evaporada.

En el presente proyecto se propuso diseñar un proceso CIP eco-amigable a través de la incorporación del tensoactivo de origen microbiano BTDS23_L para limpiar un evaporador de película ascendente en la producción de leche evaporada. Se estableció un proceso convencional al que se denominó CIP1 y se evaluó el potencial uso de BTDS23_L en determinadas etapas del proceso a distintas concentraciones de aplicación. Se verificó que todos los procesos cumplieran los requisitos microbiológicos. Se evaluó mediante un análisis de remoción de partículas la posible sustitución del empleo de calor en el CIP. Se realizó un análisis estadístico aplicando la prueba de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia $\alpha=0,05$; y se estimaron sus totales costos de operación.

INTRODUCCIÓN

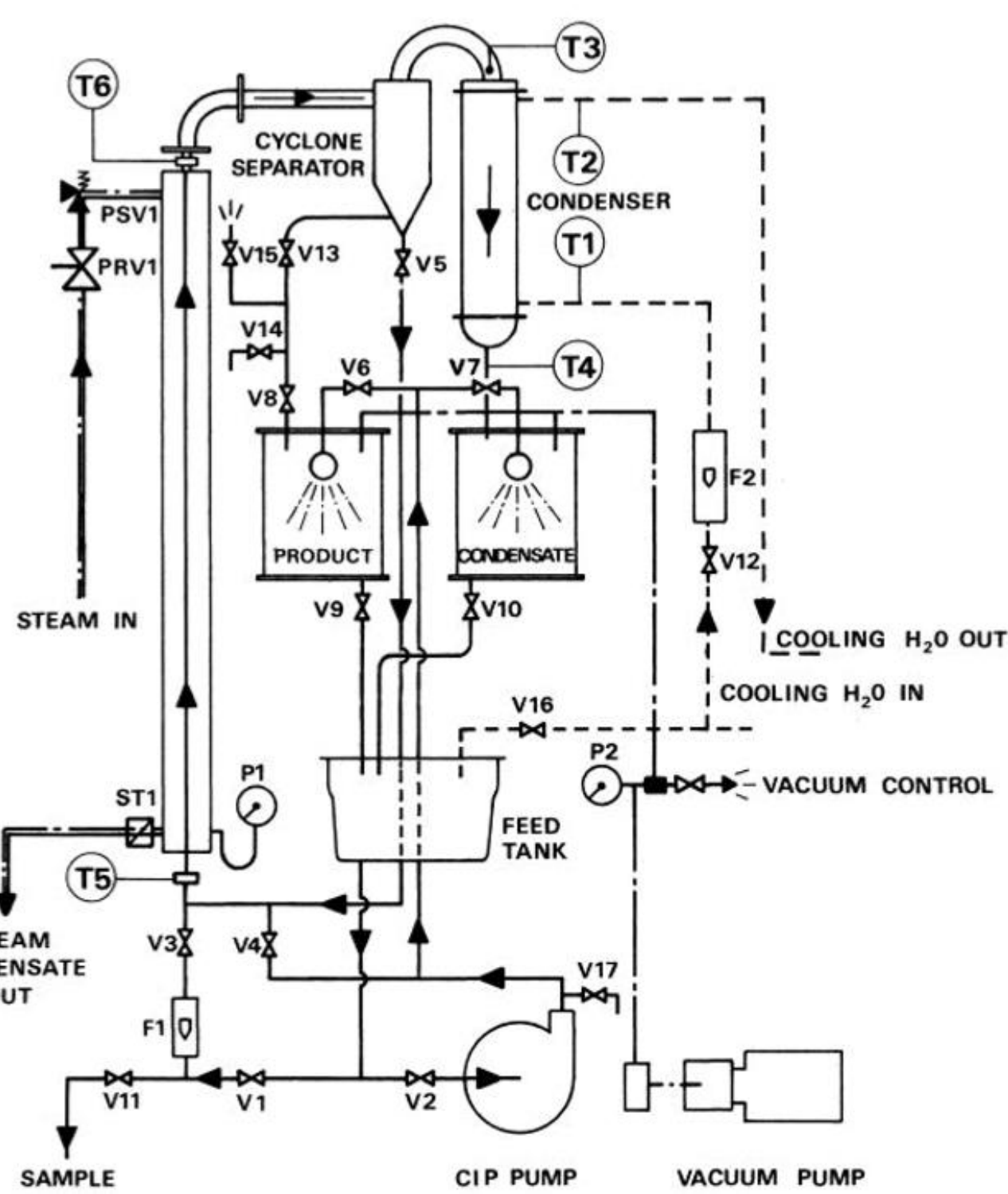
En la industria alimentaria los procedimientos de limpieza son un requisito que tienen como objetivo eliminar o reducir cualquier tipo de contaminación que pueda comprometer la seguridad alimentaria. Sin embargo, para llevar a cabo este proceso se consumen grandes volúmenes de agua y energía eléctrica, los cuales contribuyen a costos de operación como también impacto ambiental; además de la utilización de productos de síntesis química, los cuales son uno de los causantes de la sedimentación en ríos. Esto ha originado que la industria se interese por implementar nuevos sistemas que disminuyan costos mediante el cuidado de la calidad ambiental. Este proyecto describe el diseño de un Sistema de limpieza Clean – in – place (CIP) mediante la incorporación de tensoactivos de origen microbiano para una línea de producción de leche evaporada, el cual propone la posible reducción de costos, debido a la disminución en uso de recursos, para las industrias alimenticias.

METODOLOGÍA

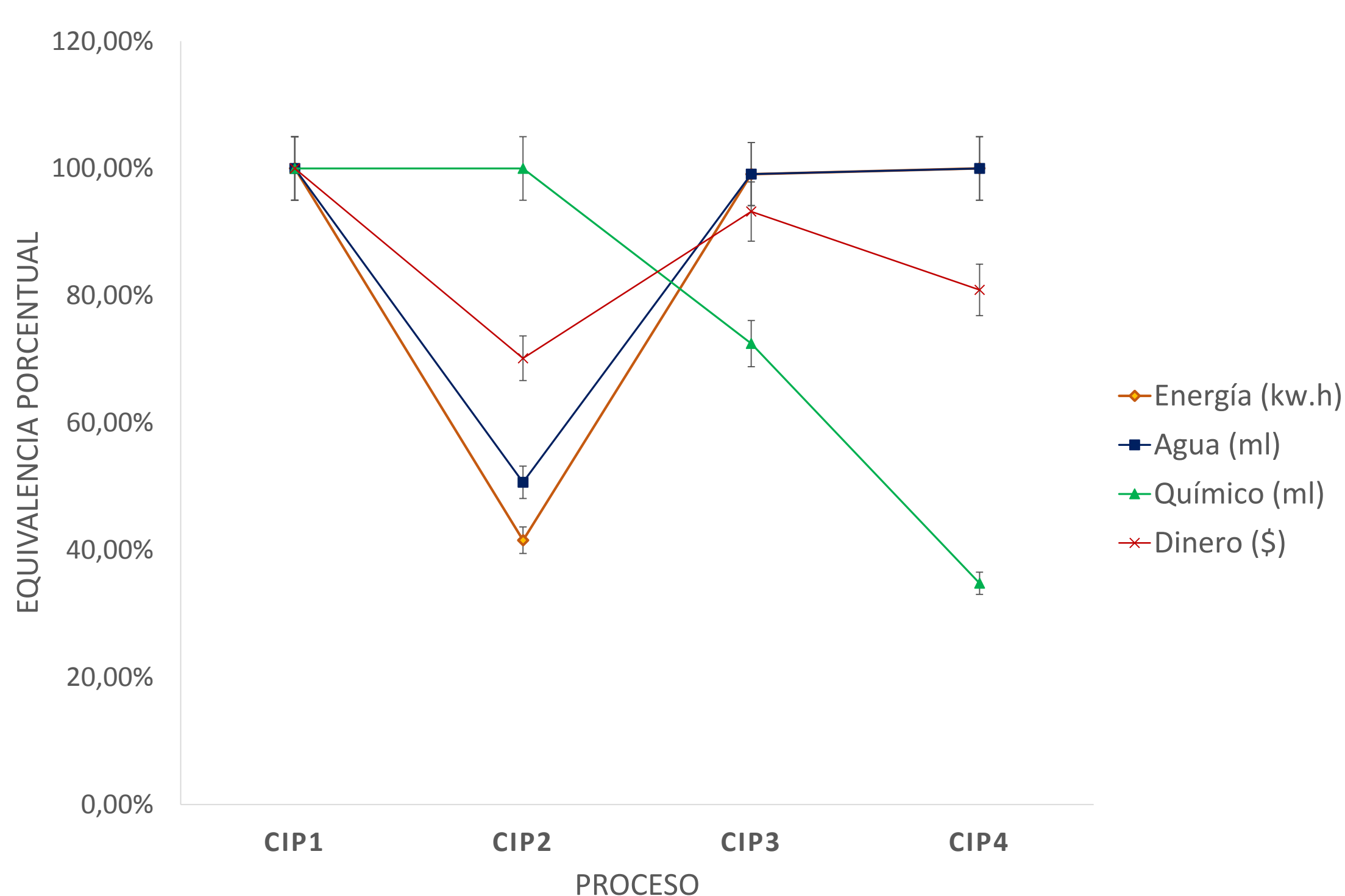


RESULTADOS

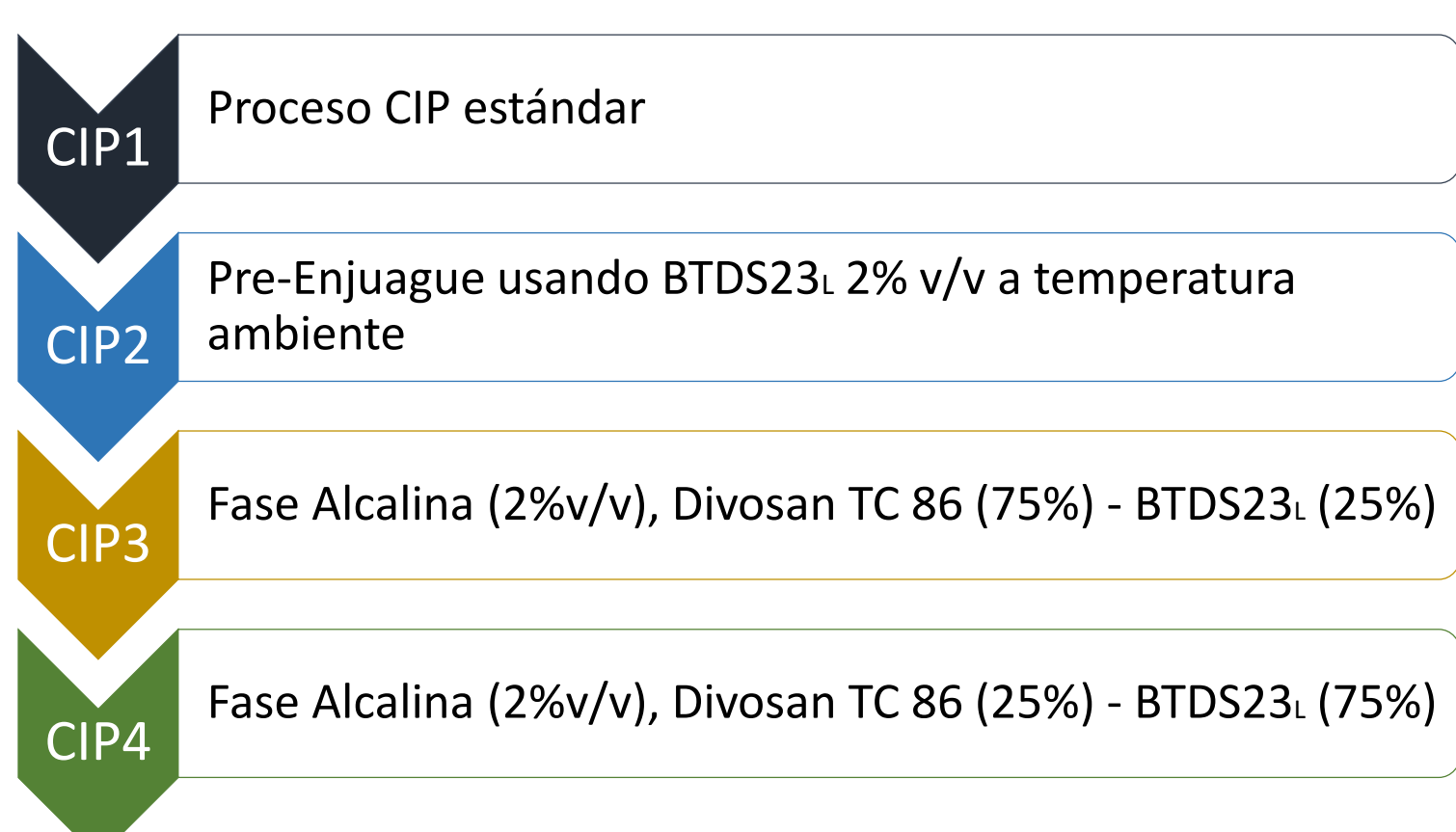
1. PROCESO DE EVAPORACIÓN



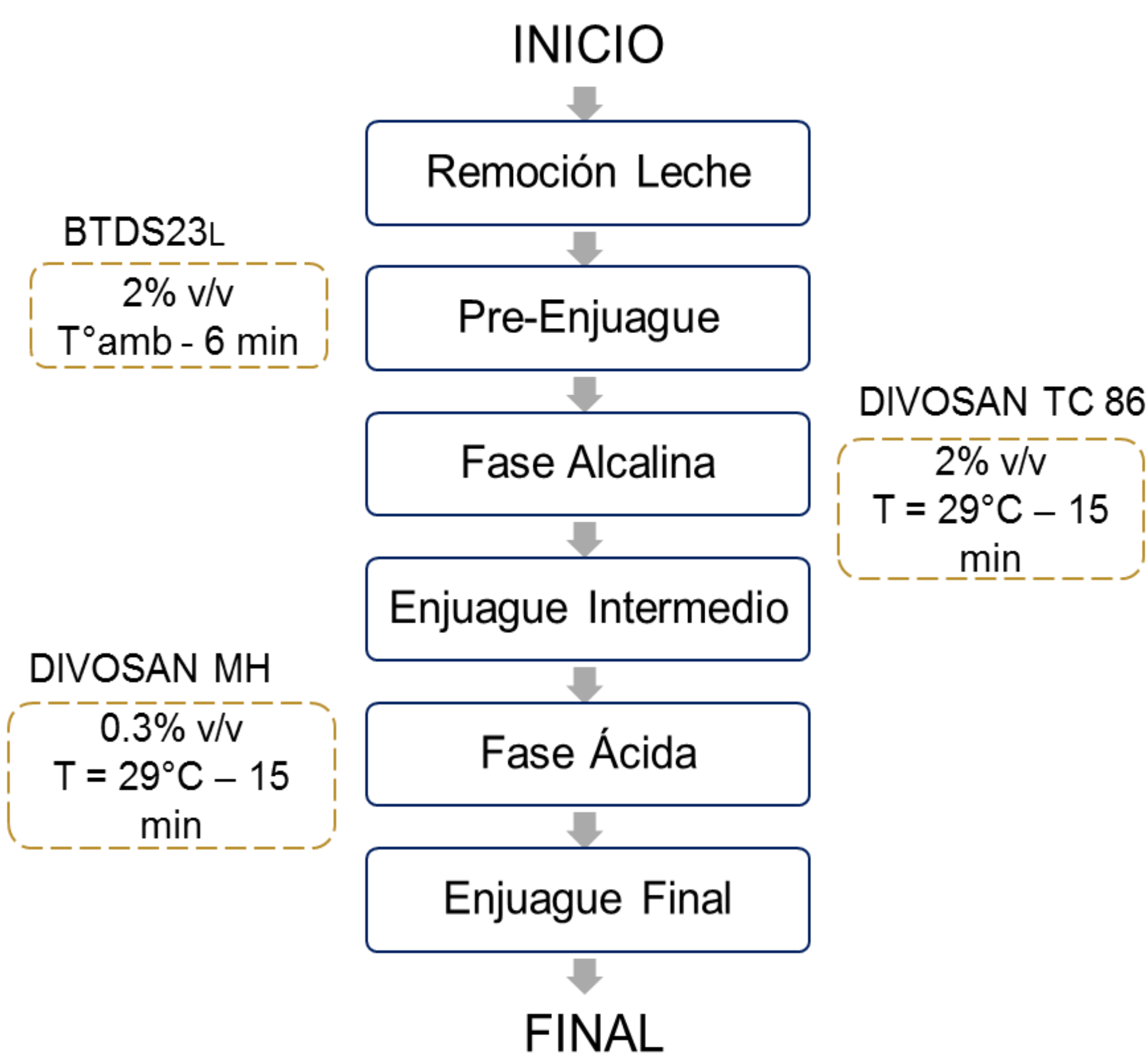
4. CONSUMO DE RECURSOS Y ESTIMACIÓN DE COSTOS



2. DISEÑO DE PROCESOS CIP

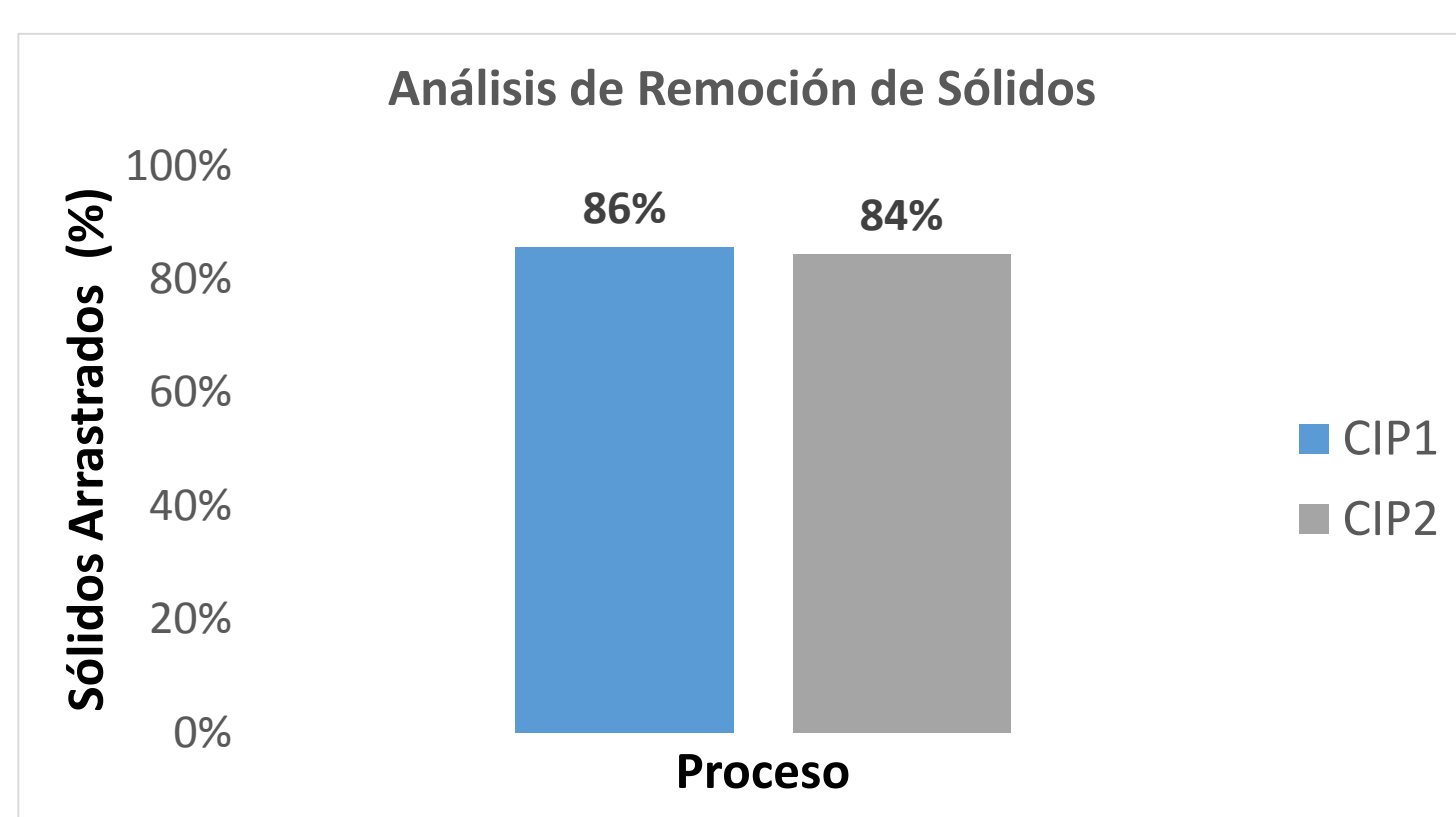


5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO CIP 2



3. EVALUACIÓN DE PROCESOS CIP

	CIP1	CIP2	CIP3	CIP4
Aerobios Mesófilos	99.55%	100.00%	99.89%	100.00%
Coliformes Totales	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%



Análisis estadístico no paramétrico Kruskal Wallis

Variable de Respuesta	Hipótesis Nula (H ₀)	Hipótesis Alternativa (H ₁)	Valor P*
Remoción de sólidos	H ₀ : Me(CIP1 _{RS}) = Me(CIP2 _{RS})	H ₁ : Me(CIP1 _{RS}) ≠ Me(CIP2 _{RS})	0,050
Consumo de Agua	H ₀ : Me(CIP1 _{CA}) = Me(CIP2 _{CA}) = Me(CIP3 _{CA}) = Me(CIP4 _{CA})	H ₁ : ∃ Me ∈ S = {CIP1 _{CA} , CIP2 _{CA} , CIP3 _{CA} , CIP4 _{CA} } diferente	0,209
Consumo de Energía	H ₀ : Me(CIP1 _{CE}) = Me(CIP2 _{CE}) = Me(CIP3 _{CE}) = Me(CIP4 _{CE})	H ₁ : ∃ Me ∈ S = {CIP1 _{CE} , CIP2 _{CE} , CIP3 _{CE} , CIP4 _{CE} } diferente	0,116

Me: Mediana; RS: Remoción de Sólidos (Å); CA: Consumo de Agua (ml); CE: Consumo de Energía (Kw-H)
*Valores obtenidos con un nivel de significancia $\alpha=0,05$

CONCLUSIONES

- Se determinó que el proceso CIP1 y todas sus modificaciones CIP2, CIP3 y CIP4 fueron eficaces, cumpliendo con la microbiología especificada en la norma peruana 461-2017-MINSA.
- El proceso CIP 2 resultó favorable en consumo de agua, de energía y total de costos de operación en un 49.34%, 58.44%, y 29.85%, respectivamente, en relación a los consumos estimados para el CIP1.
- Se logró diseñar un proceso CIP eco-amigable al que se denominó CIP2 incorporando biotensioactivo (BTDS23_L) para un evaporador de película ascendente de una línea de producción de leche evaporada.

REFERENCIAS

- Moerman, F., Rizoulières, P., & Majoor, F. A. (2014). *Cleaning in place (CIP) in food processing. Hygiene in Food Processing*. Woodhead Publishing Limited. <http://doi.org/10.1533/9780857098634.3.305>
- Romney, A. J. D. (1990). CIP: cleaning in place. *CIP: Cleaning in Place*, 224. <http://doi.org/10.1016/B978-0-08-088504-9.00447-5>
- El Peruano Resolución Ministerial N°461-2017-MINSA (2007). *Guía Técnica para el Análisis Microbiológico de Superficies en contacto con Alimentos y Bebidas*.