



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA

PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN DEL USO DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE JUGOS SIN ADITIVOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA E INGENIERA
CIVIL EN BIOTECNOLOGÍA

LORENA ELIZABETH ROJAS CONTRERAS

PROFESOR GUÍA
FELIPE DÍAZ ALVARADO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
ÁLVARO OLIVERA NAPPA
IGNACIO ZAPATA PERROT

SANTIAGO DE CHILE

2016

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniería Civil Química e
Ingeniería Civil en Biotecnología
POR: Lorena Elizabeth Rojas Contreras
FECHA: 05 de diciembre de 2016
PROFESOR GUÍA: Felipe Díaz Alvarado

PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN DEL USO DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE JUGOS SIN ADITIVOS

El agua es un recurso natural fundamental para la vida y la salud de las personas, y a lo largo del tiempo se ha vuelto un elemento indispensable en la producción industrial y generación de energía. Se espera que la demanda de agua dulce aumente en las próximas décadas, sin embargo, debido a los efectos del cambio climático se prevé que la disponibilidad de agua disminuya.

Actualmente, en el ámbito industrial, especialmente en la industria de alimentos, se utilizan grandes volúmenes de agua en los procesos productivos, y dado el escenario futuro, las empresas tienen especial preocupación por mejorar la eficiencia del uso de agua, junto con optimizar los recursos disponibles.

El presente trabajo tiene como objetivo plantear y evaluar técnica y económicamente estrategias que ayuden a minimizar los flujos de agua utilizados por una empresa de jugos sin aditivos. Para realizar esto, se utilizó la metodología denominada *Six Sigma* que se centra en la mejora continua de un proceso.

El proceso productivo del jugo comienza con el lavado de frutas, luego sigue una molienda y prensado de la misma, el jugo resultante de esta etapa se pasteuriza, se envasa en caliente y luego sigue una etapa de enfriamiento, para finalizar con el etiquetado de las botellas. Entre las etapas de la línea principal y las etapas anexas al proceso, existen ocho que utilizan agua en su operación, de las cuales cinco serán evaluadas. Luego del análisis, surgen ocho alternativas para disminuir el consumo de agua actual.

Las alternativas que resultan más atractivas de acuerdo a la inversión y al ahorro mensual que representan son: refrigerar el agua que entra en la etapa de enfriamiento, reutilizar el agua de enfriamiento, recircular el agua de lavado de frutas y utilizar una hidrolavadora para lavar pisos. Cabe destacar que todas las alternativas evaluadas están sujetas a los supuestos que se tomaron para llevar a cabo la evaluación técnica.

Finalmente, como recomendación a la empresa se sugiere implementar protocolos de lavados para todas las operaciones, para así estandarizar los métodos que se realizan de forma manual, también se sugiere implementar sistemas de medición los que permiten llevar un control del proceso.

Dedicada a aquellos que, con su dedicación y cariño,

permitieron que lograra llegar a este punto

Mis papás

AGRADECIMIENTOS

Antes que todo quisiera agradecer a Jugo AFE, por permitirme realizar mi memoria tomando su proceso productivo como referencia, destacar de forma especial a Jorge Yaconi y María Inés Yaconi que fueron mi primer contacto y los que aceptaron trabajar conmigo, además agradecer a Mireya Franco y Antonio Quezada por recibirme en la planta productiva, mostrarme el proceso y responder a mis dudas.

En segundo lugar, quisiera agradecer a mi comisión, en primer lugar, por aceptar ser parte de ella, y en segundo lugar por ayudarme siempre que lo necesité. Destaco especialmente a Felipe por hacer que viera el mundo de forma menos caótica, permitirme trabajar con él y apoyarme en todo el proceso de mi memoria. También agradezco enormemente a Ignacio, por su dedicación, el tiempo y los consejos que me dio a lo largo de mi trabajo.

Me gustaría agradecer al IQBT en general, porque han hecho que mi estadía en la universidad tenga muchos buenos recuerdos, por ser excelente comunidad y por ser un ambiente de cercanía.

Agradezco también al grupo de memoristas, que me han apoyado con sus comentarios, intervenciones y consejos a lo largo de mi trabajo.

Quiero agradecer a mis compañeros de generación IQBT, en especial a Joaco, Coni, Felitss, Fede, Pancho, Lucho, Tami, Tati, Vale, Sev, Seba y Lisa por hacerme sentir en casa y estar siempre presentes cuando los necesito, destaco especialmente a mis tallerines favoritos que han estado conmigo en los momentos más críticos de esta etapa.

A mis primeros amigos de la U, Mei, Leo, Tania, porque fueron un pilar fundamental, hicieron que me sintiera acogida en este nuevo mundo, y se convirtieron en parte de mi familia universitaria, creando recuerdos imborrables.

Quiero agradecer también a mi amigo geólogo, Bastian, que a pesar de que el tiempo no nos acompaña, siempre ha sido un apoyo fundamental y está siempre presente

Por otro lado, quiero agradecer a mi familia, destaco de forma especial a mis abuelos, que partieron en medio de mi camino por terminar la universidad, y a ellos les debo gran parte de lo que soy ahora, mis valores y el amor incondicional a la familia. También agradezco infinitamente a mis papás, en primer lugar, por permitirme dejar el nido y emprender este viaje hacia una vida más adulta, por apoyarme incondicionalmente en esta travesía y por estar siempre ahí cuando necesité de su apoyo y compañía. Igualmente, agradezco al resto de mi familia, que han estado pendientes de mí siempre, se alegran con mis logros y se preocupan cuando las cosas no andan tan bien.

Mis mejores amigos de la vida, Laura y Byron, que a pesar de la distancia que nos separa y que no podemos estar tanto tiempo juntos como nos gustaría, siempre han sido parte

muy importante en mi vida, y siempre han estado presente en los momentos más importantes de mi vida.

Y, por último, y no por eso menos importante, agradecer a Diego, por ser un compañero incondicional durante todo este tiempo, por darme infinita felicidad, por soportar mis momentos de máximo estrés, de máxima pena y acompañarme en los momentos más alegres, por motivarme y ser el mejor apoyo que pude haber tenido en esta etapa.

Finalmente agradecer a todos los mencionados por ser parte de mi vida, por acompañarme en las distintas etapas de mi vida, y espero que lo sigan haciendo en el futuro, los quiero mucho a cada uno de ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes Generales	1
1.1.1	Agua.....	1
1.1.2	Cambio Climático.....	2
1.1.2.1	Chile y el cambio climático	4
1.1.2.1.1	Efectos del cambio climático	5
1.1.3	Agua en el sector industrial	7
1.1.3.1	Huella Hídrica	7
1.1.3.2	Industria de alimentos	8
1.1.3.2.1	Uso de agua en industria de alimentos	8
1.1.3.3	Certificaciones	8
1.1.4	Agrícola Forestal El Escudo (AFE)	9
1.1.5	Estrategias de Uso de Agua.....	10
1.2	Motivación	12
1.3	Objetivos	12
1.3.1	Objetivo general	12
1.3.2	Objetivos específicos:.....	12
1.4	Alcances	13
2	METODOLOGÍA.....	14
2.1	Marco teórico.....	14
2.1.1	Método <i>Six Sigma</i>	14
2.1.1.1	Definir	15
2.1.1.2	Medir	15
2.1.1.3	Analizar	15
2.1.1.3.1	Análisis Causa Raíz	15
2.1.1.4	Mejorar	17
2.1.1.5	Controlar	17
2.1.2	Balance de energía	17
2.1.3	Pérdida de carga.....	18
2.1.4	Tuberías: Heurística de selección de diámetro	20
2.2	Metodología a utilizar.....	21

2.2.1	Definir	22
2.2.2	Medir	22
2.2.3	Analizar	22
2.2.4	Mejorar.....	22
3	PRIMER ESCENARIO.....	23
3.1	Definir.....	23
3.1.1	Proceso	23
3.1.2	Etapas de servicio al proceso principal	24
3.1.3	Etapas que utilizan agua	25
3.2	Medir	26
3.2.1	Uso actual de agua en AFE	26
3.2.2	Caracterización del agua	27
3.3	Analizar.....	28
3.3.1	Lavado de fruta	29
3.3.2	Enfriamiento de botellas.....	30
3.3.3	Lavado de tapas.....	31
3.3.4	Lavado de equipos	32
3.3.5	Lavado de pisos	33
3.3.6	Lavado de bolsas de prensado	34
3.4	Mejorar	35
3.4.1	Alternativas propuestas	35
3.4.1.1	Lavado de fruta	36
3.4.1.2	Enfriamiento de botellas.....	37
3.4.1.3	Lavado de tapas.....	38
3.4.1.4	Lavado de equipos.....	39
3.4.1.5	Lavado de pisos	40
3.4.1.6	Lavado de bolsas de prensado	40
3.4.1.7	Proceso general	41
4	SEGUNDO ESCENARIO	43
4.1	Mejorar	43
4.1.1	Modificación de las alternativas	43
4.1.1.1	Lavado de frutas	43

4.1.1.2	Enfriamiento de botellas.....	44
4.1.1.3	Lavado de tapas.....	44
4.1.1.4	Lavado de equipos.....	45
4.1.1.5	Lavado de pisos.....	45
4.1.1.6	Lavado de bolsas de prensado.....	46
4.1.2	Evaluación de alternativas.....	46
4.1.2.1	Lavado de fruta.....	47
4.1.2.1.1	Recirculación de flujos de agua.....	47
4.1.2.2	Enfriamiento de botellas.....	48
4.1.2.2.1	Enfriamiento con aire.....	48
4.1.2.2.2	Enfriamiento con agua refrigerada.....	48
4.1.2.2.3	Reutilización de agua de enfriamiento.....	49
4.1.2.3	Lavado de tapas.....	50
4.1.2.3.1	Cambio de sistema de envasado.....	50
4.1.2.3.2	Limpieza con vapor.....	51
4.1.2.4	Lavado de equipos.....	51
4.1.2.4.1	Limpieza criogénica.....	51
4.1.2.5	Lavado de pisos.....	52
4.1.2.5.1	Uso de hidrolavadora.....	52
4.1.3	Comparación de alternativas.....	53
4.1.3.1	Ahorro de agua mensual.....	53
4.1.3.2	Inversión.....	54
4.1.3.3	Inversión por ahorro de agua mensual.....	55
5	DISCUSIONES GENERALES.....	57
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
7	BIBLIOGRAFÍA.....	61
8	ANEXOS.....	68
Anexo A	Fotografías de lavado de fruta.....	68
Anexo B	Recirculación de Lavado de frutas y Lavado de tapas.....	70
B.1.	Flujos.....	70
B.1.1.	Flujo de lavado de frutas.....	70
B.1.2.	Flujo de lavado de tapas.....	70

B.1.3.	Flujo global.....	71
B.2.	Tratamiento	71
B.2.1.	Tamiz rotativo	71
B.2.2.	Ultrafiltración	73
B.3.	Estanque	75
B.3.1.	Determinación del volumen del estanque	75
B.3.2.	Elección del estanque.....	75
B.4.	Piping y Bombas	78
B.4.1.	Cálculo de diámetro de tuberías	78
B.4.2.	Cálculo de bomba	78
B.4.3.	Elección de Cañerías	79
B.4.4.	Elección de Bombas.....	79
B.5.	Inversión total	81
B.6.	Ahorro de agua	82
Anexo C	Enfriamiento	83
C.1.	Cálculo de flujo de calor	83
C.2.	Enfriamiento con aire.....	83
C.2.1.	Cálculo de flujo de aire.....	83
C.3.	Enfriamiento con agua refrigerada	84
C.3.1.	Cálculo de flujo de agua refrigerada	84
C.3.2.	Flujo de agua actual	85
C.3.3.	Ahorro de agua.....	85
C.3.4.	Equipo de enfriamiento de agua.....	86
C.3.5.	Determinación del estanque.....	88
Anexo D	Reutilización de agua de la etapa de enfriamiento.....	91
D.1.	Flujos	91
D.2.	Estanque	91
D.3.	Piping y bombas	91
D.4.	Inversión total	91
D.5.	Ahorro de agua	92
Anexo E	Lavado de tapas.....	93
E.1.	Flujo actual	93

E.2.	Uso de vapor de agua.....	93
E.2.1.	Flujo de vapor utilizado	93
E.2.2.	Equipo de limpieza a vapor	93
E.2.3.	Ahorro de agua.....	94
E.3.	Cambio de sistema de envasado.....	95
E.3.1.	Ahorro de agua.....	97
Anexo F	Lavado de equipos	98
F.1.	Calculo de flujo de agua actual.....	98
F.2.	Sistema de limpieza criogénica	98
F.2.1.	Equipo de inyección de hielo seco	98
F.2.2.	Compresor de aire.....	99
F.2.3.	Cooler isotérmico	100
F.2.4.	Consumo de hielo seco.....	102
F.2.5.	Ahorro de agua.....	103
Anexo G	Lavado de pisos	104
G.1.	Cálculo de flujo actual	104
G.2.	Elección de hidrolavadora.....	104
G.2.1.	Cálculo de flujo con hidrolavadora.....	105
G.3.	Ahorro de agua	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Demanda mundial de agua (extracción de agua dulce): escenario de referencia 2000 y 2050. BRIICS, Brasil, Rusia, India, Indonesia, China, Sudáfrica; OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; ROW, resto del mundo.[4]	2
Figura 2: Anomalía observada en el promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas combinadas, 1850-2012[8]	3
Figura 3: Cambio de precipitación media anual (expresada en mm por mes) simulado por el modelo PRECIS-DGF para fines de siglo (2070-2100) [12]	5
Figura 4: Pronóstico de impactos del cambio climático en Chile.[7]	6
Figura 5: Jerarquía de gestión de residuos según el Ministerio del Medio Ambiente[33]	12
Figura 6: Etapas de la metodología DMAIC[36]	14
Figura 7: Esquema de Diagrama de Ishikawa	16
Figura 8: Metodología de trabajo utilizada	21
Figura 9: Proceso productivo de jugos AFE.....	23
Figura 10: Etapas de servicio al proceso principal donde se utiliza agua	24

Figura 11: Diagrama de Ishikawa para el lavado de frutas	30
Figura 12: Diagrama de Ishikawa de la etapa de enfriamiento de botellas.....	31
Figura 13: Diagrama de Ishikawa del lavado de tapas.....	32
Figura 14: Diagrama de Ishikawa del lavado de equipos	33
Figura 15: Diagrama de Ishikawa del lavado de pisos	34
Figura 16: Diagrama de Ishikawa del lavado de bolsas de prensado	35
Figura 17: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de frutas	43
Figura 18: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el enfriamiento de botellas.....	44
Figura 19: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de tapas	45
Figura 20: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de equipos	45
Figura 21: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de pisos	46
Figura 22: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de bolsas de prensado	46
Figura 23: Ejemplo de un proceso de reutilización de aguas en la industria de alimentos[55]	47
Figura 24: Gráfico de ahorro de agua mensual por cada una de las alternativas de ahorro de agua.....	54
Figura 25: Gráfico de la inversión de cada una de las alternativas de ahorro de agua	55
Figura 26: Gráfico de inversión versus ahorro de agua por alternativa.....	56
Figura 27: Etapa de lavado de frutas con operadores cargando la fruta.....	68
Figura 28: Ducha de agua para lavado de frutas	69
Figura 29: Tamiz rotativo GTR 270/250[60].....	72
Figura 30: Equipo de ultrafiltración Modelo CX-UF2000[65].....	74
Figura 31: Estanque de acero inoxidable de 5.000 [l][68].....	76
Figura 32: Diagrama de la sección longitudinal de estanque de 5.000 [l][68]	77
Figura 33: Diagrama de la sección transversal de estanque de 5.000 [l][68]	77
Figura 34: Bomba CM 50[70]	80
Figura 35: Diagrama transversal y longitudinal de bomba CM 50[70]	81
Figura 36: Chiller modelo SKCLA036A06[75]	86
Figura 37: Bomba avalu VA-15 N[77].....	88
Figura 38: Estanque de acero inoxidable de 1.000 [l][78].....	89
Figura 39: Limpiadora a vapor doble caldera[80]	94
Figura 40: Equipo de envasado de líquidos en la industria de alimentos[81].....	95
Figura 41: Sistema de inyección de hielo seco Aero 40[82]	98
Figura 42: Compresor Pressure modelo ATG2 60[83]	100
Figura 43: Cooler isotérmico HR11P2-LC[84]	101
Figura 44: Pellets de hielo seco de 3 [mm]	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Producción de jugos AFE[30]	10
Tabla 2: Velocidades de distintos fluidos para definir piping[48]	20
Tabla 3: El uso de agua en AFE: Etapa, utilidad y técnica	26
Tabla 4: Uso actual de agua en AFE.....	27
Tabla 5: Componentes presentes en el agua de las distintas etapas del proceso.....	28
Tabla 6: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de frutas	36
Tabla 7: Visión general de las alternativas propuestas para el enfriamiento de botellas .	37
Tabla 8: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de tapas	38
Tabla 9: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de equipos	39
Tabla 10: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de pisos.....	40
Tabla 11: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de bolsas de prensado	41
Tabla 12: Resumen alternativas de lavado de fruta.....	48
Tabla 13: Resumen alternativas de enfriamiento de botellas.....	50
Tabla 14: Resumen alternativas de lavado de tapas	51
Tabla 15: Resumen alternativas de lavado de equipos	52
Tabla 16: Resumen alternativas de lavado de pisos	53
Tabla 17: Aspectos técnicos de tamiz rotativo GTR 270/250[60].....	72
Tabla 18: Aspectos técnicos de equipo de ultrafiltración Modelo CX-UF2000[65].....	74
Tabla 19: Especificaciones del estanque de acero inoxidable.....	77
Tabla 20: Especificaciones de bomba CM 50[70]	80
Tabla 21: Dimensiones de bomba CM50[70]	81
Tabla 22: Cálculo de masa de jugo AFE.....	83
Tabla 23: Aspectos técnicos de Chiller modelo SKCLA036A06[75]	87
Tabla 24: Características técnicas de estanque de acero inoxidable de 1000 [1][78]	90
Tabla 25: Aspectos técnicos de limpiadora a vapor de doble caldera[80].....	94
Tabla 26: Características técnicas de máquina de llenado de líquidos[81]	96
Tabla 27: Precios FOB de equipo de envasado y equipos accesorios[81]	96
Tabla 28: Características técnicas del sistema de inyección de hielo seco Aero 40[82] ..	99
Tabla 29: Aspectos técnicos de Compresor Pressure modelo ATG2 60[83]	100
Tabla 30: Aspectos técnicos de cooler isotérmico HR11P2-LC[84]	101
Tabla 31: Mediciones de flujo de manguera en la planta de Jugos AFE	104
Tabla 32: Características técnicas de la hidrolavadora HD 6/16-4 M Plus[86]	105
Tabla 33: Equipamiento de la hidrolavadora HD 6/16-4 M Plus[86]	105

1 INTRODUCCIÓN

El trabajo aquí presentado aborda un tema muy latente en la actualidad: el uso de agua y como mejorarlo en un contexto industrial. El agua es de suma importancia en la vida de los seres vivos, y el cambio climático está provocando escasez de este recurso hídrico, por lo que se hace necesario para las empresas tener una mejor gestión de los procesos. La siguiente sección abordará estos temas, junto con realizar una contextualización de la empresa AFE, que será tomada como escenario para la evaluación de este estudio, además se presentarán las buenas prácticas utilizadas en la actualidad para mejorar la gestión del agua a nivel industrial.

1.1 Antecedentes Generales

1.1.1 Agua

El agua es uno de los recursos naturales más importante para el ser humano, siendo fundamental para la vida y la salud de las personas. Desde la antigüedad las civilizaciones han establecido sus viviendas en zonas aledañas a las fuentes de agua, sean estas superficiales como lagos, ríos o mares o subterráneas como acuíferos[1]. Los usos que tiene el agua en la sociedad actual son diversos, se utiliza como bebestible, para producir alimentos, para lavar, para la fabricación de diversos productos industriales, para la generación de energía, todo lo cual es importante para el funcionamiento de una sociedad desarrollada[2].

El 97% del agua existente en el planeta corresponde a agua salada, cubriendo aproximadamente dos tercios de la superficie de la tierra, el 2% no es de fácil acceso pues se encuentra en estado sólido y el 1% restante, viene a ser representado por el agua que hay en los lagos, ríos, en la humedad atmosférica, en el suelo, en la vegetación y en el subsuelo[3], siendo ésta el agua disponible para el consumo humano, animal y vegetal.

El consumo de agua dulce se ha duplicado en los últimos cincuenta años y se espera que la demanda de agua dulce crezca significativamente en las próximas décadas debido a las necesidades de poblaciones y economías en crecimiento. Se prevé que la demanda mundial de agua aumentará un 55% para el año 2050, debido a la demanda de producción (400%), generación de energía térmica (140%) y consumo doméstico (130%). Por otro lado, existe la evidencia de que la reserva de aguas subterránea se está agotando, se estima que un 20% de los acuíferos del mundo están sobreexplotados. En la Figura 1 se muestra el pronóstico de demanda de agua dulce para el año 2050, sin considerar el agua pluvial utilizado en la agricultura[4].

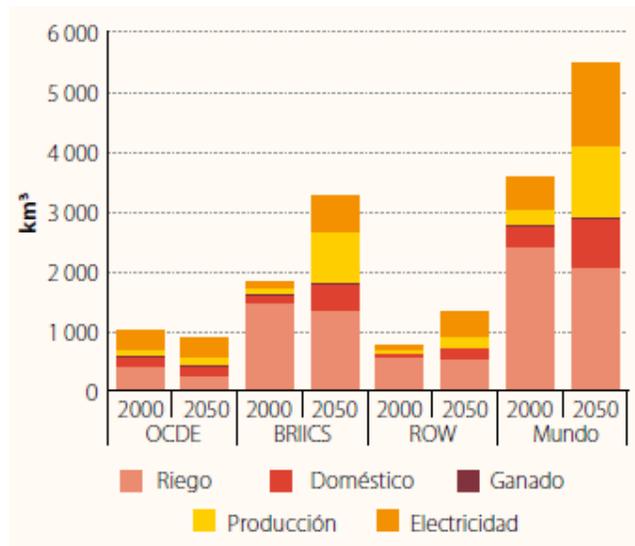


Figura 1: Demanda mundial de agua (extracción de agua dulce): escenario de referencia 2000 y 2050. BRIICS, Brasil, Rusia, India, Indonesia, China, Sudáfrica; OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico; ROW, resto del mundo.[4]

1.1.2 Cambio Climático.

Según La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cambio climático es un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”[5].

Desde hace décadas, la Tierra está sufriendo un proceso de calentamiento global, estableciéndose como mayores contribuyentes de este cambio climático a las acciones realizadas por el hombre desde la revolución industrial[6]. El alza de las temperaturas es consecuencia de los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a la atmósfera; la capacidad de absorción de los sumideros naturales de CO₂ no es suficiente, por lo que la permanencia previsible de este gas en la atmósfera es del orden de siglos. En consecuencia, el nivel actual de CO₂ (388 ppm) continuará creciendo hasta mediados de siglo aún en el mejor escenario de reducción de emisiones[7].

Los efectos asociados a los gases de efecto invernadero están relacionados con el aumento de la temperatura en la superficie terrestre y oceánica, los que muestran un calentamiento promedio de 0,85 °C durante el período 1880-2012, siendo este el período más cálido en los últimos 1400 años. En la Figura 2 se puede observar la progresión de este fenómeno entre 1850 y 2012[8].

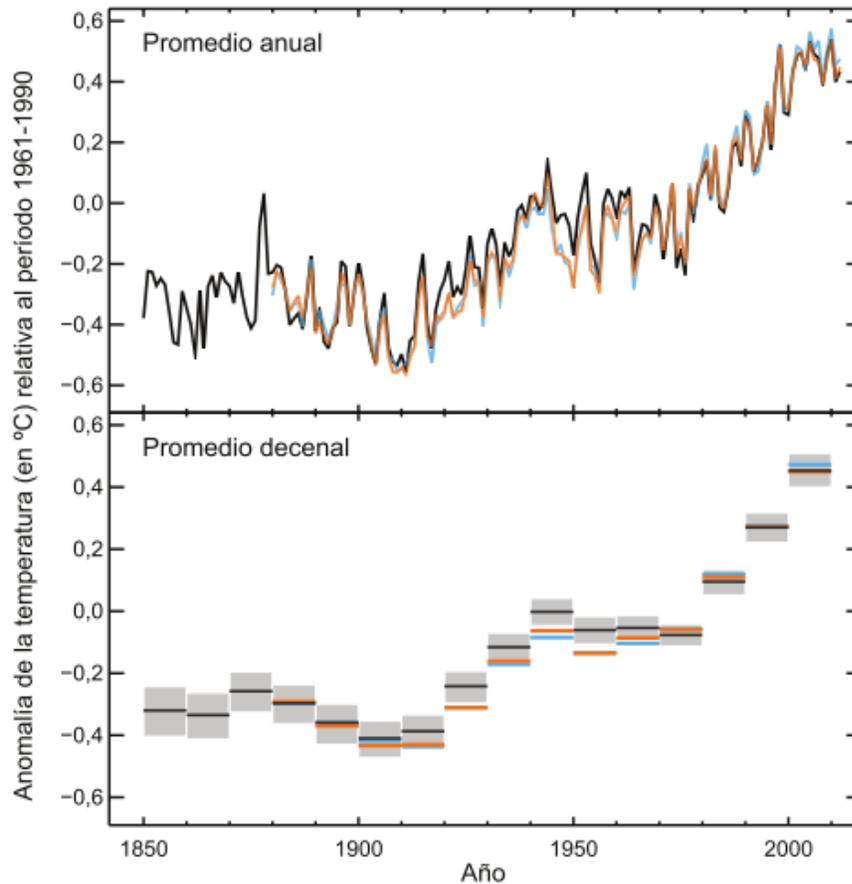


Figura 2: Anomalia observada en el promedio mundial de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas combinadas, 1850-2012[8]

En las últimas décadas, el cambio climático ha afectado a los sistemas naturales y humanos en todo el planeta, se han producido fenómenos extremos tales como sequías, inundaciones, olas de calor, ciclones e incendios forestales[9, 10].

Junto con lo anterior, el cambio en el clima se vincula a modificaciones de gran escala que ha tenido el ciclo hidrológico, tales como derretimiento de hielos y glaciares, variaciones extremas en las precipitaciones y aumento en el contenido de vapor de agua en la atmósfera[9]. Los mantos de hielo de Groenlandia y la Antártica han ido perdiendo masa, los glaciares se han disminuido. El hielo del Ártico y el manto de nieve en primavera en el hemisferio norte siguen reduciéndose en extensión. Junto con esto, el ritmo de la elevación del nivel del mar ha sido superior a la media de los dos milenios anteriores, durante el período 1901-2010, el nivel medio global del mar se elevó 0,19 [m][8].

Actualmente, existen dos ejes para abordar el cambio climático, en primer lugar, se encuentran medidas de mitigación, que consisten en disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático, por otro lado existe un plan de adaptación cuyo objetivo es evitar, resistir o aprovechar los efectos del cambio en el clima[7].

1.1.2.1 Chile y el cambio climático

Chile, es considerado un país vulnerable a los efectos del cambio climático, debido a que cuenta con áreas de borde costero de baja altura; con zonas áridas, semiáridas; sectores con cobertura forestal y otros expuestas al deterioro forestal; es un país proclive a desastres naturales; presenta zonas propensas a la sequía y la desertificación, territorios urbanos con problemas de contaminación atmosférica; y zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los sistemas montañosos[7].

En Chile se proyecta un aumento de temperatura en todo el territorio nacional, con un gradiente de mayor a menor, de norte a sur y de Cordillera a Océano. Para el período cercano, entre 2011 y 2030, los aumentos de temperatura fluctúan entre los 0,5 °C para la zona sur y los 1,5 °C para la zona norte grande y altiplánica[7].

Las precipitaciones constituyen la vía por la cual todo el sistema natural de suministro de agua se recarga. La mayoría de los ríos sufre cambios debido a diversos eventos en el curso de horas y manifiesta crecidas instantáneas; sin embargo, el nivel de agua en el período estival depende del agua acumulada en forma de nieve[11]. Así, entre los años 2011 y 2030, se esperan disminuciones de precipitación entre 5 y 15%, entre la cuenca del Río Copiapó y la cuenca del Río Aysén[7].

Los cambios de precipitación proyectados se muestran en la Figura 3, donde se observa que la precipitación anual disminuye 1.000 mm, se aprecia además un aumento en las costas australes (~500 mm/año) y un leve aumento sobre el Altiplano[12].

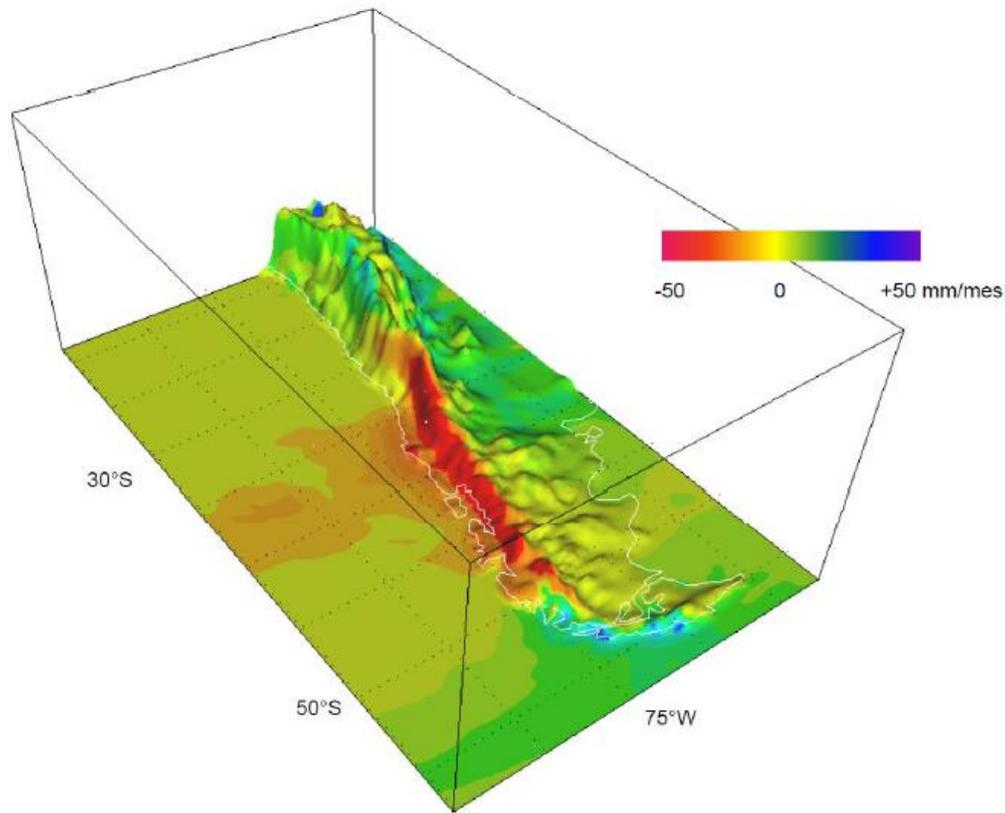


Figura 3: Cambio de precipitación media anual (expresada en mm por mes) simulado por el modelo PRECIS- DGF para fines de siglo (2070- 2100) [12]

De acuerdo a un estudio de vulnerabilidad, tomando como base los efectos del aumento de la temperatura y disminución en las temperaturas, se estima una reducción significativa de caudales en los ríos Elqui, Illapel, Aconcagua, Maipo, Cachapoal, Teno, Cautín y otros ubicados entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos[7].

1.1.2.1.1 Efectos del cambio climático

El aumento de la temperatura, puede ser perjudicial en la actividad agrícola debido a la aparición de plagas que actualmente no están presentes, por otro lado, los cambios en la precipitación podrían ocasionar problemas en la disponibilidad de agua para riego y así afectar la productividad de los cultivos y de esta forma, también las actividades económicas que dependen de la actividad agrícola pueden verse afectadas. Adicionalmente, en el sector forestal se incrementan los riesgos de incendios y la proliferación de insectos asociados a la variabilidad del clima.

Se espera una disminución de las nevadas cordilleranas produciendo una merma en los ríos andinos y así tener un efecto negativo sobre la disponibilidad del recurso hídrico tanto para riego como para producción de energía. Por otro lado, en los océanos se producirá un incremento de nivel que puede generar problemas de inundación en las viviendas de la zona, disminución en las actividades productivas como la pesca y la

agricultura[13]. En la Figura 4, se presenta un diagrama sobre los impactos potenciales del cambio climático en Chile.

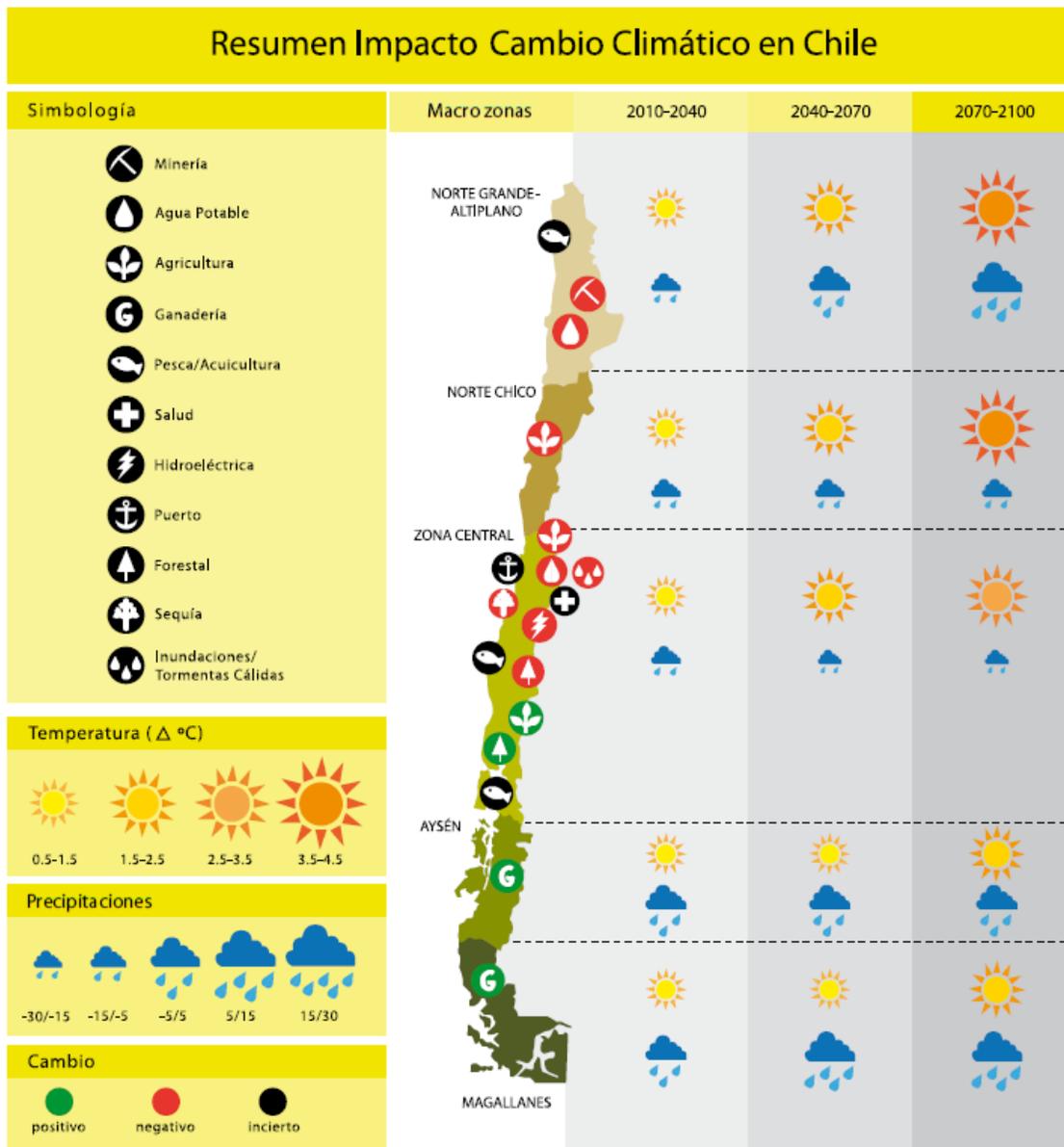


Figura 4: Pronóstico de impactos del cambio climático en Chile.[7]

El cambio climático representa una amenaza para los equilibrios ecosistémicos en toda la extensión territorial chilena. En términos generales, cualquier fenómeno climático que altera el medio ambiente en que habita una comunidad, representa un impacto socio-económico, modifica las redes de relaciones interpersonales, las conductas colectivas, entre otros. Así, en base a este contexto surgen los Planes Nacionales de Adaptación como una herramienta para enfrentar los efectos actuales y esperados del cambio climático[7].

1.1.3 Agua en el sector industrial

Actualmente, el sector industrial utiliza cerca de un 20% del agua total extraída a nivel mundial, incluyendo el agua usada en la generación de energía hidráulica, nuclear y termoeléctrica y en los procesos industriales[14].

Se prevé que el volumen anual de agua utilizado por la industria sufrirá un aumento desde los 752 [km^3] en el año 1995 a 1.170 [km^3] al año 2025, es decir alrededor de un 24% de las extracciones de agua dulce[14].

En este contexto, al haber un aumento en la demanda de los productos generados por la industria, en especial de alimentos, dado el aumento de la población, junto con un aumento en la escasez mundial de agua, se hace necesario para las empresas conocer sus consumos de agua y emprender actividades para minimizar riesgos de producción y asegurar la sostenibilidad ambiental, económica y social[15]. Por otro lado, en Chile, se intenta promover la producción limpia, que es una estrategia de gestión productiva y ambiental que combina la preocupación por el entorno, la comunidad y el desarrollo sustentable[16].

Dado lo anterior, en este ítem se abordarán temas relacionados con la metodología de medición de huella hídrica, la industria de alimentos y su uso de agua y finalmente las certificaciones que están asociadas al consumo responsable del agua.

1.1.3.1 Huella Hídrica

En 1998 surgió un nuevo concepto impulsado por Tony Allan que corresponde al *agua virtual* que representa al volumen total de agua que se utiliza en la elaboración de un producto, siendo su uso de forma directa o indirecta[17].

Por otro lado, en el 2002, surgió otro concepto denominado *huella hídrica* que se define como el volumen total de agua dulce utilizada para producir bienes y servicios consumidos por un individuo, un grupo de personas o un país[18].

La *huella hídrica* considera el origen del agua utilizada, y en base a esto se divide en tres tipos de agua:

- **Agua Verde:** es el agua de lluvia evaporada o incorporada al producto durante el proceso de producción, siendo particularmente importante en procesos agrícolas y forestales.
- **Agua Azul:** corresponde al agua superficial, ya sea de ríos, lagos o esteros, y también al agua subterránea que es incluida en la producción.
- **Agua Gris:** representa toda el agua contaminada en un proceso, incluyendo aquella que es necesaria añadir para que un contaminante quede lo suficientemente diluido para respetar la normativa vigente.

1.1.3.2 Industria de alimentos

Los recursos de la tierra y el agua y la forma en la que se utilizan son fundamentales para hacer frente al reto de mejorar la seguridad alimentaria en todo el mundo. La población mundial sigue aumentando. La población actual de la Tierra, 7.000 millones de personas aproximadamente, aumentará, según las previsiones, a unos 9.000 millones en 2050[19].

1.1.3.2.1 Uso de agua en industria de alimentos

El agua está involucrada en el procesamiento de alimentos y en operaciones anexas relacionadas con los mismos, por ejemplo, remojo, lavado, enjuague, calentamiento, pasteurización, enfriamiento, producción de vapor, limpieza general, desinfección, riego y bebestible de animales. Uno de los principales usos de agua son los lavados de equipos e instalaciones debido a que se requiere un alto grado de higiene en las operaciones, por otro lado, el agua debido a su alto calor específico y calor de vaporización, es muy utilizada como medio de transporte de energía calórica[20].

Cada vez que se consumen alimentos o se emplea algún producto o servicio, indirectamente se utiliza agua involucrada en los procesos de producción, en general este consumo indirecto es mayor que el consumo directo de la producción de alimentos. El gran requerimiento de agua genera, por consecuencia, grandes flujos de aguas residuales. Así, es de suma importancia la recuperación y reutilización de este recurso natural para disminuir los flujos de abastecimiento y reducir también los costos de producción[21].

1.1.3.3 Certificaciones

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización[22] que tienen como función la elaboración de normas internacionales requeridas por el comercio, los gobiernos y la sociedad[23].

Actualmente, existe una preocupación por el medio ambiente y cómo las buenas prácticas pueden ayudar a disminuir las consecuencias asociadas al cambio climático y en base a esto han surgido algunas certificaciones que ayudan a mejorar la gestión vinculada al medio ambiente.

En 1996 surgió la Norma Internacional de sistemas de gestión ambiental, ISO 14.001, la cual es una certificación que permite identificar, priorizar y gestionar los riesgos ambientales. Esta certificación compromete a la empresa a crear un plan de manejo del medio ambiente incluyendo objetivos, políticas y procedimientos, responsabilidades definidas, capacitación del personal, documentación y un sistema para controlar cualquier cambio y avance realizado[24].

Las empresas que trabajan de acuerdo a esta certificación tratan de mejorar la manera en que se reducen sus impactos en el medio ambiente, lo que puede crear beneficios internos al mejorar el uso de los recursos, reduciendo el uso de materia prima y energía, o mejorando el manejo de desechos[24].

El 2014, se aprobó la primera norma internacional sobre la huella de agua, ISO 14.046, que especificará los principios, los requisitos y Guía para la evaluación y generación de informes sobre la huella hídrica[25]. Se aplicará a productos, procesos y organizaciones basados en evaluaciones de sus ciclos de vida. Su creación, tiene su origen en el creciente interés de organizaciones y gobiernos por el aumento de la demanda del agua, así como a su progresiva escasez y pérdida de calidad[26].

Los principales puntos básicos que contiene la norma ISO 14.046 son:

- Se aplica a productos, servicios, procesos y organizaciones.
- Está basada en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).
- Es modular de acuerdo a las etapas del ciclo de vida. Esto significa que los valores de huella hídrica que se estimen en una etapa del ciclo de vida se pueden sumar a los correspondientes a otra etapa.
- Identifica los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua, por lo que se excluye cualquier referencia a impactos sociales o económicos.
- Incluye las dimensiones temporal y geográfica, es decir, se tiene que especificar claramente en el estudio cuál es el marco temporal para el que se realiza el análisis y la situación geográfica dónde se localiza el área de estudio, ya que repercutirá en las disponibilidades de agua.
- Identifica magnitudes de uso de agua y cambios en su calidad, por lo que se tienen en cuenta tanto las disponibilidades de agua como su degradación.

En este contexto, la evaluación de la huella hídrica del proceso, contribuye a:

- Identificar oportunidades para reducir impactos relacionados al uso del agua asociados a productos, procesos y a la organización.
- Gestionar de forma estratégica los riesgos.
- Facilitar la eficiencia y la optimización de la gestión del agua a nivel de productos, procesos y organizacionales.
- Informar a los tomadores de decisión en la industria, gobierno y ONGs de los impactos potenciales relacionados con el agua.

1.1.4 Agrícola Forestal El Escudo (AFE)

Agrícola Forestal El Escudo (AFE) es una empresa creada en 1968 que se ubica en el valle del Huemul en la Comuna de Teno, Séptima Región. Su principal rubro es la producción de frutas frescas de exportación. En 1997, conscientes de la creciente demanda de productos de origen natural en el mundo, se comenzó con un proyecto denominado Jugos AFE, cuyo principal objetivo es la elaboración de un jugo 100% natural[27].

La Misión de AFE está alineada con la alimentación sana de sus consumidores, promoviendo el consumo de productos naturales, respetando el medio ambiente y

realizando su labor con responsabilidad social. Por otro lado, en su Visión destacan por ser una empresa líder en el desarrollo e innovación de jugos de fruta[28].

AFE, en su rubro de producción de fruta de exportación, tiene como principal producto, la manzana. Por otro lado, la propuesta de valor de los jugos AFE, es la fabricación de un jugo obtenido a partir de únicamente fruta como materia prima, es decir, sin la inclusión de aditivos ni agua. Las frutas que se utilizan actualmente para la fabricación del bebestible son principalmente manzana, membrillo, ciruela, pera, kiwi y uva[27].

Todos los jugos AFE son envasados en botellas de vidrio en formatos de 1 litro, 300 [ml] y 200 [ml]. Este tipo de envase, ofrece una buena protección para los alimentos debido a que la baja porosidad y nula corrosión evitan la reacción con el alimento que contienen. Las paredes transparentes permiten, además, que el cliente vea el producto. Por otro lado, tienen la opción de ser reutilizados o reciclados por el propio consumidor lo que es una ventaja sobre otro tipo de envases[29]. En la Tabla 1 se presentan los porcentajes de producción de jugo AFE según la fruta de la que está realizado el jugo y según el formato del mismo.

Tabla 1: Producción de jugos AFE[30]

Sabor	Formato	Porcentaje	Total
Manzana	1000 cc	20%	30%
	300 cc	10%	
Pera	1000 cc	12%	20%
	300 cc	8%	
Membrillo	1000 cc	4%	7%
	300 cc	3%	
Ciruela	1000 cc	7%	10%
	300 cc	3%	
Uva	1000 cc	8%	13%
	300 cc	5%	
Manzana Orgánica	200 cc	8%	20%
	300 cc		
	1000 cc	12%	

1.1.5 Estrategias de Uso de Agua

La escasez de agua alcanza niveles críticos en muchas regiones, debido a cambios climáticos y sequías prolongadas, por otro lado, el costo del tratamiento de residuos líquidos generados tiene directa relación con el volumen de agua a tratar. Debido a lo anterior, existe un fuerte incentivo a nivel mundial por reducir el consumo de agua[21].

Por un lado, existen buenas prácticas de gestión, asociadas al uso de agua, que corresponden a ideas, propuestas y metodologías de actuación respecto a la organización

y el método de trabajo. Se caracterizan por ser sencillas de implantar, útiles y de bajo coste, y por lo general ofrecen resultados rápidos[3].

Para solucionar los problemas de agua, se tienen distintas estrategias de gestión de su uso, que generalmente incluyen medidas para una reducción efectiva de agua fresca y recuperación, recirculación y reutilización de aguas de proceso[21].

Por otro lado, existen buenas prácticas tecnológicas en la gestión del agua, que corresponden a un conjunto de soluciones y propuestas técnicas (en muchos casos bastante específicas) aplicables a los procesos que se llevan a cabo en la industria cuyo objetivo es buscar la eficiencia relacionada con el recurso hídrico. Algunas de estas estrategias son[3, 31, 32]:

- Recirculación de aguas de enfriamiento.
- Recirculación de aguas de lavado de envases.
- Recirculación de aguas de lavado de materia prima.
- Realizar limpiezas en seco.
- Utilización de aireadores a la salida de las aguas.
- Uso de agua a alta presión en volúmenes reducidos en las operaciones de limpieza.
- Selección de detergentes que requieran mínimo enjuague y en dosis adecuadas.
- Uso de válvulas automáticas para la regulación de volumen, temperatura y presión, dado que las manuales implican mayores pérdidas.
- El requerimiento de agua para enfriamiento o calentamiento se puede reducir mediante principios de integración energética y adecuados sistemas de aislación térmica.

El ministerio del Medio Ambiente propone una jerarquía en la gestión de residuos, si bien en esta categoría no se incluye el agua, ésta podría tratarse de la misma manera. La jerarquía propuesta se muestra en la Figura 5. Esta clasificación consiste en las siguientes etapas[33]:

- **Prevención:** Se refiere a acciones para evitar o reducir la generación de residuos, disminuir la presencia de sustancias contaminantes y minimizar los impactos sobre el medio ambiente o la salud de las personas.
- **Reutilización:** Acción consistente en el uso de un material previamente utilizado como insumo en el proceso que le dio origen.
- **Reciclaje:** Medidas de valorización en las que los residuos son transformados en nuevos productos.
- **Valorización Energética:** Uso del residuo como combustible en un proceso productivo.
- **Eliminación:** Disposición definitiva de los residuos en lugares autorizados conforme la normativa vigente.



Figura 5: Jerarquía de gestión de residuos según el Ministerio del Medio Ambiente[33]

1.2 Motivación

El presente trabajo tiene principalmente dos ejes motivacionales: en primer lugar, se espera contribuir a la disminución del uso de agua, debido a la escasez que tendrá en un futuro este recurso natural, tomando en consideración tanto los efectos del cambio climático como los grandes flujos de agua utilizados en la industria alimentaria. De esta forma, se espera reducir el consumo de agua fresca en la producción de Jugos AFE.

Por otro lado, desde la perspectiva de la empresa AFE, hay un interés por mejorar su estrategia de uso de agua, debido que los consumidores están cada vez más preocupados de adquirir productos cuya elaboración sea consciente del medio ambiente o que presenten certificaciones que avalen su preocupación por el mismo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Plantear y evaluar técnica y económicamente estrategias que ayuden a minimizar los flujos de agua utilizados por Jugos AFE.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Analizar el proceso de manufactura de los Jugos AFE.
- Identificar las etapas del proceso productivo en las que se utiliza agua y distinguir puntos de mejora en su uso.
- Proponer estrategias que permitan mejorar la eficiencia en el uso de agua en las etapas mencionadas anteriormente.
- Evaluar técnica y económicamente las propuestas.

1.4 Alcances

El presente estudio estará enfocado en el análisis de uso de agua en producción de la planta de jugos de AFE, ubicada en las cercanías de Teno, séptima región. Para realizar esto, es preciso realizar visitas a las instalaciones de la empresa con el objetivo de conocer el proceso productivo, flujos de agua y jugo además de las temperaturas de los mismos.

Dado que este estudio tiene una duración de 6 meses, y en base a la información recolectada de la planta, se realizarán propuestas técnicas en una etapa conceptual, es decir, se evaluará la prefactibilidad técnica y económica de implementar o incorporar alguna de estas alternativas. Considerando lo anterior, la evaluación que aquí se expondrá puede tener un elevado grado de incertidumbre, por lo que antes de implementar se debe contar con una fase de mediciones y pruebas que permitan zanjar la factibilidad técnica.

2 METODOLOGÍA

La metodología aquí presentada se dividirá en dos grandes áreas, por un lado, se presenta el sustento teórico de la misma, que incluye la descripción general del método *Six Sigma*, utilizada para la mejora continua de los procesos, y las estrategias de cuantificación que se usarán, y por otro lado se presenta la metodología específica que se utilizará en este estudio, que se basa en las estrategias descritas en la sección teórica.

2.1 Marco teórico

2.1.1 Método *Six Sigma*

El método *Six Sigma* o DMAIC consiste en una metodología sistemática para reducir errores, concentrándose en la mejora del proceso, minimizando las posibilidades de error. Esta metodología es utilizada para eliminar los desperdicios del proceso, reducir la variación de un producto, mejorar la productividad y acortar los ciclos de los procesos[34].

DMAIC sigue un formato estructurado que consiste en 5 fases conectadas entre sí (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) como se muestra en la Figura 6. Estas etapas tienen como objetivo responder ciertas preguntas específicas que dirigen el proceso de mejora[35].

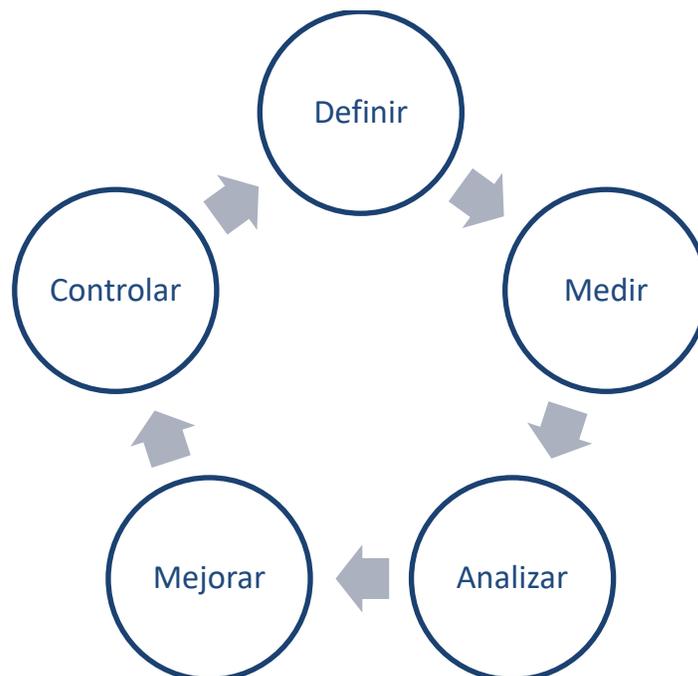


Figura 6: Etapas de la metodología DMAIC[36]

2.1.1.1 Definir

Es la fase inicial de la metodología, tiene como objetivo identificar los posibles proyectos de mejora dentro de la empresa y definir cuál es el problema a tratar. Dentro de esto, es importante definir el propósito del proyecto a realizar, el alcance que tendrá el mismo, el funcionamiento actual del proceso, el flujo del proceso general, entre otros[35, 37].

2.1.1.2 Medir

Una vez que está definido el problema a abordar, se debe establecer qué características determinan el comportamiento del proceso, es necesario identificar cuáles son las variables del proceso, qué parámetros afectan a su desempeño, se mide la capacidad del proceso, además de evaluar el sistema de medición actual[37, 38].

2.1.1.3 Analizar

En esta etapa se analizan los datos obtenidos del estado actual del proceso y se determinan las causas de este estado y las oportunidades de mejora. Aquí se determina si el problema es real o un evento aleatorio. Así en esta etapa se analizan los datos recolectados en las etapas anteriores y se estructura un plan de mejoras potenciales para aplicar en el siguiente paso. En esta etapa suelen utilizarse diagramas de causa efecto para encontrar la raíz del problema y en base a esto poder resolverlo[35].

2.1.1.3.1 Análisis Causa Raíz

La identificación de la causa raíz es una metodología utilizada para comprobar y analizar las causas de un problema, encontrar maneras de resolverlos y evitar que ocurran. El diagrama de Ishikawa es una herramienta ideada en el siglo XX por el ingeniero japonés Kaoru Ishikawa[39], que consiste en una representación gráfica, similar a una espina de pescado, con una línea horizontal en el centro que representa el problema y líneas oblicuas que llegan a la horizontal que representan las causas, como se ilustra en la Figura 7[40].

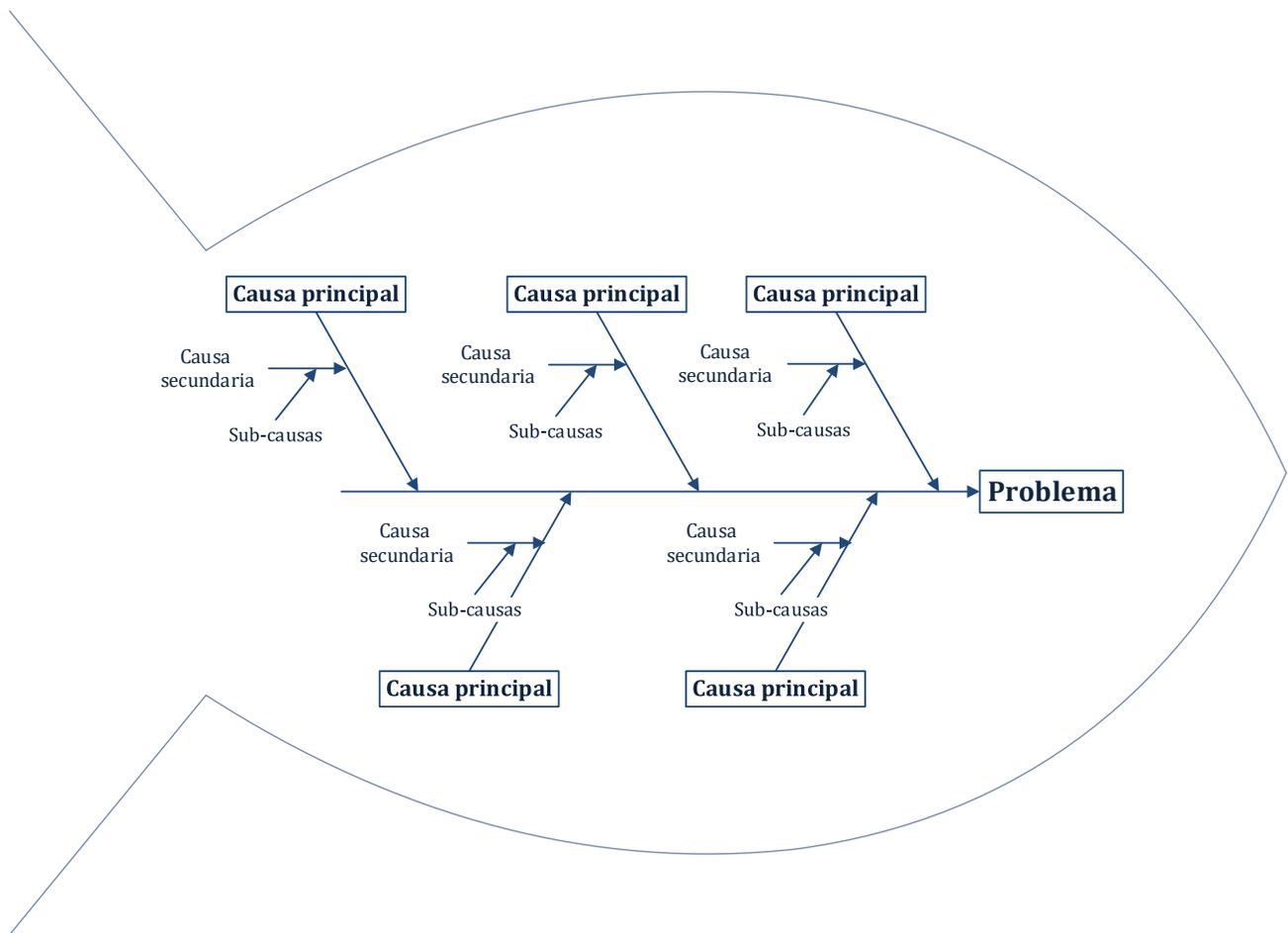


Figura 7: Esquema de Diagrama de Ishikawa

Para utilizar el diagrama de Ishikawa se deben seguir los siguientes pasos[39–41]:

1. Definir con exactitud el problema, fenómeno o evento que se quiere analizar.
2. Definir las categorías en las que se pueden enmarcar las causas del problema, unas de las pautas empleadas regularmente son las denominadas “5 M”: Método, Mano de obra, Maquinaria, Material, Medio Ambiente.
3. Identificar las causas que pueden haber ocasionado el problema y distribuirlas según las categorías definidas en la etapa anterior y a cada causa.
4. Analizar y discutir el diagrama con el objetivo de encontrar las causas más probables y a formular acciones que ayuden a solucionar el problema, para realizar esto suele utilizarse la herramienta de los 5 por qué, la cual por medio de preguntas del estilo “¿Por qué es así?” o “¿Por qué ocurre esto?” intenta descubrir si existe una causa anterior a la ya encontrada.

2.1.1.4 Mejorar

Cuando ya se determinó que el problema es real, se deben identificar las posibles soluciones. En esta fase se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora para el proceso, rediseñando el proceso actual para mejorar los problemas existentes[34, 35].

2.1.1.5 Controlar

Una vez que se ha mejorado el desempeño del sistema, se debe asegurar que este se mantenga en el tiempo, así se hace necesario tener una estrategia de control que permita monitorear el sistema y cerciorarse que este opere de forma eficiente[35].

2.1.2 Balance de energía

El calor es la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas debido a una diferencia de temperaturas. El calor, al ser energía, tiene unidades de energía que generalmente es [kJ] o [Btu]. La cantidad de calor transferida entre dos estados se denota Q , por otro lado, la tasa de transferencia de calor se expresa \dot{Q} que representa la derivada por unidad de tiempo, [42].

En general, para elevar un grado la temperatura de la misma masa de dos sustancias diferentes se requieren distintas cantidades de energía, así se define el concepto de calor específico que es la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia. Dentro de la termodinámica, hay dos clases de calores específicos: calor específico a volumen constante (c_v) y calor específico a presión constante (c_p). El calor específico se mide en [kJ/(kg · °C)][42].

Por otro lado, la entalpía (H) es una función termodinámica que caracteriza la capacidad de un sistema para transferir calor hacia otro sistema. En el caso de una sustancia pura, la entalpía se puede expresar en función de la presión y la temperatura[43]. Si se obtiene la derivada de la entalpía se obtiene la ecuación (1).

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p dT + \left(\frac{\partial H}{\partial p}\right)_T dp \quad (1)$$

Por definición $(\partial H/\partial T)_p$ equivale a la capacidad calorífica a presión constante (C_p) y para casi todos los propósitos prácticos $(\partial H/\partial p)_T$ tiene un valor pequeño a presiones moderadas por lo que puede eliminarse el segundo término de la ecuación (1). Así, la variación de entalpía se puede calcular según la ecuación (2).

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad (2)$$

Basado en un balance de energía global junto con la definición de entalpía, si la presión del sistema es constante, se tiene la igualdad presentada en la ecuación (3)

$$Q = \Delta H \quad (3)$$

Dado lo anterior, para calcular el calor cedido por sustancia se utilizan las ecuaciones (2) y (3), y si la capacidad calorífica se considera constante para un rango de temperatura se obtiene finalmente la ecuación (4), donde T_f representa la temperatura en un estado final y T_i a la temperatura en un estado inicial.

$$Q = C_p(T_f - T_i) \quad (4)$$

Por último, existe una relación directa entre la capacidad calorífica y el calor específico de una sustancia, la que se presenta en la ecuación (5) donde m es la masa del compuesto. Esto quiere decir que el calor específico es característico del material por el que está compuesto un cuerpo[44].

$$c_p = \frac{C_p}{m} \quad (5)$$

Luego de estas relaciones se tiene finalmente que al unir las ecuaciones (4) y (5), se puede obtener el calor de acuerdo a la ecuación (6) la cual permite calcular el calor cedido por una sustancia de masa m que es sometida a una diferencia de temperatura

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (6)$$

2.1.3 Pérdida de carga

En la industria en general, para poder transportar un fluido, se utilizan cañerías, es por esto que se hace necesaria la caracterización de su comportamiento. Para esto es necesario tener en cuenta el concepto de pérdida de carga, el cual representa la pérdida de energía que presenta el fluido por unidad de longitud.

Para describir el comportamiento de un fluido se utiliza la ecuación de Bernoulli, la cual resulta de un balance de energía (Ecuación (7))[45].

$$H = h + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Donde, H es la suma de Bernoulli en [m], h es la altura en [m], P es la presión en [Pa], ρ es densidad del fluido en [kg/m³], g es aceleración de gravedad en [m/s²] y v es velocidad en [m/s]

Si las pérdidas por rozamiento se desprecian, y se consideran las pérdidas de energía que se producen traducidas en pérdida de carga es posible realizar un balance según la ecuación (8)[46].

$$H_1 + H_e = H_2 + \sum (\Delta H_i + \Delta H_f) \quad (8)$$

Donde ΔH_i es la pérdida de carga debido a singularidades en [m], ΔH_f es la pérdida de carga debido a la fricción en [m], ΔH_E , la altura de elevación.

El término de pérdida de carga, como se muestra en la ecuación (8), se divide en tres componentes, el primero incluye la suma de las pérdidas de carga debido a singularidades, tales como expansión, contracción, codos, entre otros, la segunda viene dada por pérdidas de carga debido al material de la tubería, es decir, por la rugosidad que presenta la pared y la tercera por la bomba que impulsa el fluido del sistema.

La pérdida de carga debido a la fricción viene dada por la Ecuación de Darcy-Weisbach, la que fue deducida experimentalmente e indica que la pérdida de carga posee una relación cuadrática con la velocidad que tiene el fluido según la ecuación (9)[47]:

$$\Delta H_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

Donde, f es Factor de fricción de Darcy, L es el largo de la tubería en [m], D es diámetro de la tubería en [m], g es aceleración de gravedad en [m/s²] y v es velocidad en [m/s]

Para un fluido que circula por el interior de una tubería circular, el número de Reynolds, se calcula utilizando la ecuación (10):

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad (10)$$

Donde, ρ es la densidad del fluido en [kg/m³], μ es la viscosidad del fluido [kg/ms], v_s es la velocidad del fluido [m/s] y D es el diámetro de la tubería [m].

Si se está trabajando en régimen laminar, el coeficiente de fricción de Darcy se calcula de acuerdo a la ecuación (11):

$$f = \frac{64}{Re} \quad (11)$$

Cuando se trabaja con flujo turbulento, se define otro valor adimensional definido como rugosidad relativa, el cual viene dado por la ecuación (17):

$$Rugosidad\ Relativa = \frac{K_s}{D} \quad (12)$$

Donde, K_s es la rugosidad del material en [m] y D es el diámetro de la tubería en [m].

Combinando estos adimensionales y utilizando un diagrama de Moody, se puede encontrar el coeficiente de Darcy en un régimen turbulento.

El otro término de pérdida de carga, debido a cada singularidad, el cual representa un cambio en la dirección del flujo o en el diámetro de la tubería, se calcula con la ecuación (13):

$$\Delta H_i = \sum_{i=1}^n k_i \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

El coeficiente k de la ecuación es un adimensional y depende del tipo de singularidad, este valor se puede relacionar con el coeficiente de Darcy definiendo un largo equivalente de la tubería (Ecuación (14)).

$$k = L_{eq} \cdot D \cdot f \quad (14)$$

Dado lo anterior, la ecuación (8) finalmente es equivalente a la ecuación (15).

$$h_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + H_e = h_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum (k_i \frac{v^2}{2g} + f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}) \quad (15)$$

2.1.4 Tuberías: Heurística de selección de diámetro

Para definir el diámetro de las tuberías, existe una metodología que se basa en la relación entre el costo de las tuberías o piping y el costo de las bombas. Así en base a un flujo conocido, definiendo una velocidad, se determina el diámetro de la tubería[48].

Las velocidades consideradas razonables según el contexto industrial se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Velocidades de distintos fluidos para definir piping[48]

Tipo de fluido	Velocidad máxima (m/s)
Vapor saturado hasta 350 [kPa]	20-30
Vapor saturado sobre 350 [kPa]	30-50
Vapor sobrecalentado sobre 1400 [kPa]	50-75
Agua bomba succión	1,8
Agua bomba descarga	3
Agua matriz	2

Así, la heurística consiste en:

- Definir el flujo volumétrico que se requiere.
- Fijar una velocidad según la Tabla 2, dependiendo de las condiciones y del fluido que se tiene.
- Dividir el flujo volumétrico por la velocidad hasta obtener el área de la sección transversal de la tubería.
- Se despeja el diámetro de la sección transversal de acuerdo a la geometría de la tubería
- Por último, se buscan diámetros similares en la industria. La selección de materiales depende exclusivamente de las características del fluido y las condiciones del mismo.

2.2 Metodología a utilizar

Para la realización del presente trabajo se utilizará la metodología *Six Sigma* o DMAIC, descrita en la sección 2.1.1, que persigue la mejora continua de los procesos[49]. Como se menciona en esa sección, este sistema consta de 5 etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. En particular, en este análisis se considerará las cuatro primeras, debido a que luego de una generación de alternativas para la disminución del uso de agua, no se llevará a cabo una implementación de las mismas, y por lo tanto no existirá un proceso modificado que controlar. Sin embargo, si la empresa decide incorporar alguna de las alternativas que aquí se presentarán, se podría implementar un sistema de control que permita monitorear el proceso productivo con sus modificaciones. Finalmente, la metodología utilizada es la que se expone en la Figura 8, la que se explicará a continuación.

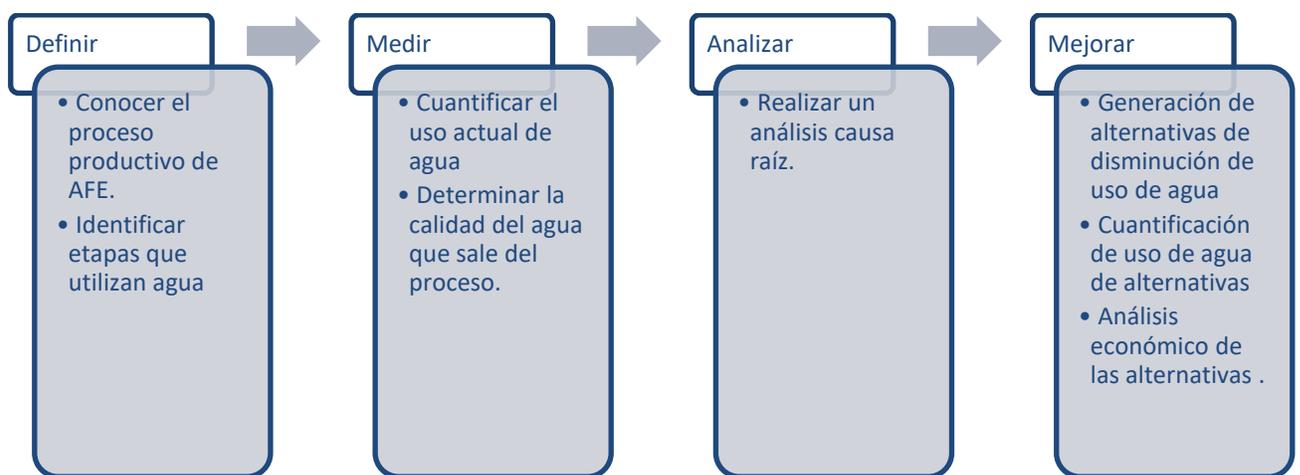


Figura 8: Metodología de trabajo utilizada

2.2.1 Definir

En este paso, se espera definir cuál será el problema a abordar, por lo que, mediante la realización de visitas técnicas a la planta productiva, se conocerá el proceso de fabricación de jugos en profundidad, y en base a esto se identificarán las etapas en las que se utiliza agua.

2.2.2 Medir

Una vez definido el proceso productivo de AFE, se determinarán los flujos de agua que poseen las distintas etapas para lo cual se realizará una visita a la planta y se consultará por la disponibilidad de estos valores. Por otro lado, se determinará la calidad del agua a la salida del proceso, en ese sentido, de acuerdo a la función del agua en cada fase se identificarán, de forma cualitativa, los componentes presentes en cada residuo industrial líquido (RIL).

2.2.3 Analizar

Luego de tener la descripción del proceso y conocer donde se utiliza agua, se realizará un diagrama de Ishikawa para determinar los motivos del uso de agua en cada una de las etapas, para esto se realizará una lluvia de ideas y discusión profesional, alimentada también por otros actores[50], este procedimiento permitirá llegar a la causa principal de uso de agua y con esto poder generar una solución adecuada.

2.2.4 Mejorar

Posterior a esto se plantearán distintas estrategias para reducir el uso de agua, se intentará eliminar el uso de agua de las etapas que la utilicen, si no es posible esto, se buscará la forma de disminuir el consumo del recurso hídrico y, en tercer lugar, se analizarán las posibles recirculaciones de flujos. Una vez definidas las alternativas, se cuantificará el uso de agua que implica cada una de ellas, y por lo tanto el delta de agua que se ahorraría. Por último, de acuerdo a las estrategias de minimización de uso de agua, se realizará un análisis económico de las ideas propuestas.

3 PRIMER ESCENARIO

Este escenario muestra la primera información proporcionada por la empresa AFE, aquí se expondrán las principales etapas del proceso productivo, además se identificarán los principales puntos de uso de agua y se expondrán posibles alternativas para mejorar la gestión del agua en la producción de jugos.

3.1 Definir

En esta primera etapa de la metodología DMAIC, se espera definir cuál es el proceso productivo de AFE, poniendo especial énfasis en las etapas en las que se utiliza agua, junto con definir cuáles son las condiciones del agua a la salida del proceso en cada una de las etapas.

3.1.1 Proceso

El diagrama de bloques de la Figura 9 presenta las etapas de la línea general de la producción de jugos AFE.

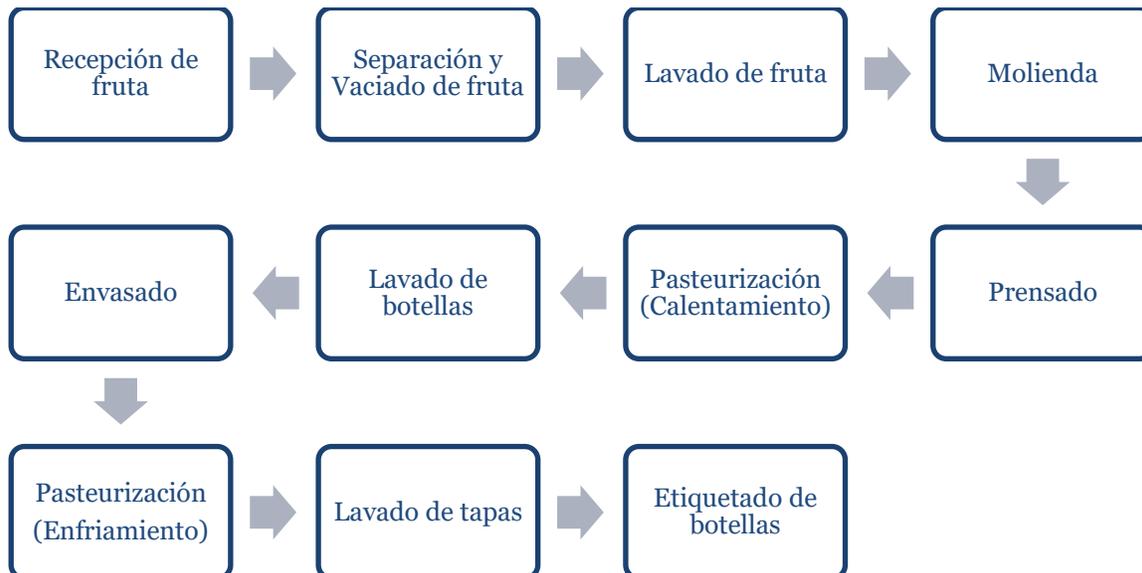


Figura 9: Proceso productivo de jugos AFE

El proceso comienza con la recepción de la fruta desde los proveedores de AFE a la planta productiva. En la siguiente etapa se realiza una separación de la fruta en la que operadores filtran manualmente los residuos sólidos que vienen con la fruta (hojas y ramas) y cortan la fruta si alguna zona no presenta las condiciones adecuadas para convertirse en jugo, por ejemplo, si ha entrado en una fase de descomposición. Una vez realizado este filtro depositan la fruta en una cinta transportadora. A continuación, comienza el lavado de fruta que se realiza mediante aspersores con agua clorada a 2 ppm, dispuestos a lo largo de la cinta transportadora. La finalidad de esta etapa es eliminar de la fruta la tierra u otras sustancias que tenga adheridas[51], además de desinfectar la fruta. La eficiencia de lavado por aspersión depende del equipo y agua utilizados, influyendo además parámetros tales como presión, volumen, temperatura y

tiempo de exposición[52]. En esta etapa es donde se genera el primer RIL, el cual es conducido al tratamiento de RILes. En las Figura 27 y Figura 28 se presentan fotografías de la etapa de lavado de fruta de AFE.

Una vez limpia la fruta, comienza la molienda donde se tritura la fruta, aumentando su área superficial, prosigue una etapa de prensado que permite extraer el jugo que contiene la fruta, la eficiencia de esta etapa depende de la fruta con la que se esté trabajando ya que hay algunas con mayor contenido de líquido que otras. Los desechos de esta etapa son transportados al tratamiento de residuos industriales sólidos (RISes), posteriormente se convierte en humus que sirve de abono para los árboles frutales[31].

El jugo continúa la línea productiva, y se realiza la pasteurización, que consiste en la elevación de la temperatura del jugo para eliminar microorganismo vegetativos presentes en él, esto se realiza mediante un ciclo cerrado de vapor, el jugo ingresa en un rango de temperaturas de 6°C o 20°C dependiendo de la estación del año en la que se fabrique y alcanza los 96°C con el objetivo de que una vez envasado el jugo se encuentre a 90°C[52]. Paralelamente se lavan las botellas de vidrio para eliminar los contaminantes que puedan tener. Finalmente, se embotella el jugo mediante un sistema de dosificación manual en la que el jugo entra a la botella y es detenido por los operadores, posterior a esto, de forma manual, se tapan las botellas.

Para continuar con la etapa de pasteurización, a estas botellas se les realiza una ducha de agua fría con el objetivo de disminuir su temperatura a 40°C. Posteriormente, se procede a lavar el borde de vidrio de las tapas de las botellas, debido a que en la etapa de envasado el jugo sale al exterior de la botella y si este no se elimina favorece la aparición de microorganismos. Por último, se etiquetan manualmente los contenedores para su posterior comercialización. Todos los flujos aquí utilizados se dirigen posteriormente al tratamiento de RILes de la planta de jugos AFE, que consiste en un biofiltro que utiliza lombrices para la disminución de la carga orgánica.

3.1.2 Etapas de servicio al proceso principal

Si bien, la línea principal es la que se describe en el ítem anterior, el uso de agua también está incluido en etapas auxiliares al proceso principal que son las mostradas en la Figura 10.

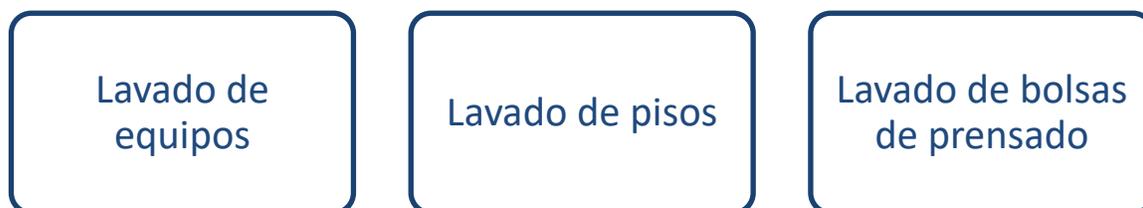


Figura 10: Etapas de servicio al proceso principal donde se utiliza agua

De acuerdo al Reglamento Sanitario de los Alimentos, es necesario que tanto los equipos como los pisos mantengan las condiciones de higiene adecuadas, es decir que se limpien y desinfecten cuando sea preciso para evitar contaminar los alimentos producidos[53].

AFE, al ser una empresa de alimentos debe cumplir las normativas mencionadas, es por esto que periódicamente se realiza la limpieza tanto de los equipos como de los pisos. En el caso de los equipos, estos son limpiados una vez que finalice el turno o si es preciso cambiar el sabor del jugo a elaborar. Dependiendo del equipo que se vaya a limpiar se utiliza soda cáustica o detergente de forma manual utilizando una escobilla, se utiliza agua y posteriormente se realiza una sanitización con cloro. Por otro lado, en el caso de los pisos, que reciben constantemente residuos provenientes del proceso, se realiza un lavado con detergente y luego se realiza una limpieza con cloro.

Otra de las etapas que consume agua es el lavado de las bolsas de prensado. Las bolsas representan el medio filtrante de la prensa, así, cuando el proceso está en operación, permanece al interior de la bolsa, la pomasa, correspondiente a residuo generado luego de la extracción de jugo. Los residuos al interior de la bolsa perjudican el correcto funcionamiento de la prensa, por lo que se hace necesario cambiar la bolsa. La bolsa, con los residuos de fruta, es sometida a un proceso de limpieza para poder ser reutilizada. Primero, se elimina de forma manual la mayor cantidad de pomasa presente al interior de la bolsa, luego utilizando una escobilla y agua se eliminan los elementos más grandes presentes y se introduce la bolsa al interior de una lavadora convencional para eliminar la parte faltante de los residuos, por último, se utiliza una secadora para eliminar el agua que se encuentra en la bolsa, quedando ésta lista para ser reutilizada.

3.1.3 Etapas que utilizan agua

En base al proceso presentado con anterioridad, se pueden identificar 8 etapas que consumen agua, y que debido a esto cobran especial interés en este estudio. Estas etapas son: lavado de fruta, calentamiento (pasteurización), lavado de botellas, enfriamiento (pasteurización), lavado de tapas, lavado de bolsas de prensado, lavado de equipos, lavado de pisos. En la Tabla 3 se presentan las diferentes técnicas de uso de agua y la finalidad que tiene ésta en cada una de las etapas.

Tabla 3: El uso de agua en AFE: Etapa, utilidad y técnica

Etapa	Uso de agua (¿Para qué se utiliza el agua?)	Técnica de uso (¿Cómo se utiliza el agua?)
Lavado de fruta	Eliminación de impurezas presentes en la fruta (polvo, tierra, insectos, microorganismos, etc.)	Ducha de agua mediante aspersores en cinta transportadora
Pasteurización (calentamiento)	Elevación de la temperatura del jugo para eliminar los microorganismos presentes en el jugo	Ciclo cerrado de agua caliente.
Lavado de botellas	Eliminación de las impurezas presentes en el envase (polvo, microorganismos)	Sistema de ducha (no operativo) Lavado con manguera (actual de forma temporal)
Pasteurización (Enfriamiento)	Disminución de la temperatura de las botellas de jugo para terminar con la pasteurización	Túnel con ducha de agua
Lavado de tapas	Eliminación de jugo presente alrededor de la tapa de la botella debido al envasado del jugo	Ducha de agua
Lavado de bolsas de prensado	Remoción de pomasa de la fruta de la bolsa de prensado para reutilizarla	Lavado manual, uso de lavadora y posterior uso de secadora
Lavado de equipos	Eliminación del jugo presente en los equipos para cambiar de fruta o cuando finalice el día	Lavado con manguera
Lavado de pisos	Eliminación de suciedad acumulada en el piso durante el turno (jugo, tierra, polvo, etc.)	Lavado con manguera

3.2 Medir

3.2.1 Uso actual de agua en AFE

AFE anualmente produce 850 mil litros de jugo distribuidos en sus distintos formatos de acuerdo a la demanda existente. La empresa en su producción de jugo, no cuenta con equipos que permitan medir el uso actual del agua. Sin embargo, existe un registro promedio del uso en algunas de las etapas que se muestran en la Tabla 4. De acuerdo a la información proporcionada por la empresa, el gasto promedio de agua es entre 60 y 75 [m³/día]

Tabla 4: Uso actual de agua en AFE

Etapa	Uso de agua [m³/día]
Sala de Lavado de fruta (Lavado de fruta, de equipos, pisos y bins)	23-25
Sala de prensado (Lavado de prensa y pisos)	1,5-2
Sala de envasado (Ambientación del pasteurizador, lavado de pisos)	7-10
Lavado de botellas	10-15
Enfriamiento	15-20
Caldera	1
Aseos	8

Como se observa en la Tabla 4, existen etapas que utilizan un mayor flujo de agua, siendo la etapa más crítica el lavado de fruta, seguida por el enfriamiento de botellas y luego por el lavado de las botellas. Cabe mencionar que dentro de estos valores están incluidos además los asociados al lavado de equipos y de pisos que no se consideran en una categoría adicional porque no existe un registro de estos.

3.2.2 Caracterización del agua

El agua utilizada en el proceso productivo de AFE tiene distintas funciones, y como consecuencia de esto posee diferentes condiciones iniciales y presenta diferentes contaminantes al momento de entrar al tratamiento de RILes. De acuerdo a lo observado en la planta, dependiendo de la etapa en la que se utilice el agua, contiene distintos componentes como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Componentes presentes en el agua de las distintas etapas del proceso

Etapa	Componentes presentes en el agua de entrada	Componentes presentes en el agua de salida
Lavado de fruta	Agua con cloro 2ppm	Polvo, agentes químicos que tenga la fruta, materia orgánica disuelta, cloro.
Lavado de botellas	Agua de fuente subterránea filtrada y clorada	Polvo
Enfriamiento	Agua de fuente subterránea filtrada y clorada	-
Lavado de tapas	Agua de fuente subterránea filtrada y clorada	Materia orgánica proveniente del jugo
Lavado de equipos	Agua de fuente subterránea filtrada y clorada + detergente	Materia orgánica, detergente, cloro, polvo
Lavado de pisos	Agua de fuente subterránea filtrada y clorada + detergente	Tierra, materia orgánica, detergente
Lavado de bolsas de prensado	Agua de pozo + detergente	Materia orgánica, detergente

3.3 Analizar

Para analizar las condiciones del uso actual de agua y determinar finalmente las causas de su utilización se realizan diagramas causa-efecto, para las etapas que utilizan agua, este método permite determinar el origen del problema y a partir de esto buscar soluciones.

A pesar de que son ocho las etapas que utilizan agua al interior de la empresa, no se considerará la etapa del lavado de botellas, a pesar de ser uno de los puntos críticos de uso de agua, porque en el período de recopilación de información esta etapa no se encontraba operando con sus condiciones normales, por lo tanto, no fue posible recopilar información de su funcionamiento. Tampoco se considerará la fase de elevación de temperatura en la pasteurización, ya que, al ser un ciclo cerrado de agua, no involucra mayores gastos de la misma.

Antes de partir por el detalle de cada una de las etapas, es importante mencionar que existen causas recurrentes en muchas de las etapas, y por lo tanto se abordarán de forma global. En primer lugar, uno de los problemas encontrados es la baja importancia percibida durante el uso de agua por parte de los operadores, causado por la falta de capacitaciones y por un déficit que existe a nivel educativo en nuestro país en torno al cuidado del medio ambiente. Lo anterior es especialmente significativo en aquellas

operaciones unitarias que requieren manipulación por parte de los operarios, por ejemplo, las distintas etapas de lavado que existen en la planta.

Por otro lado, como fue mencionado con anterioridad, el proceso no presenta estrategias de control para el uso del agua, no contando con equipos de medición de flujo de agua en las etapas. Este punto es de particular importancia en este estudio, debido a que por esta carencia no es posible tener un valor exacto del uso total de agua y mucho menos del uso de la misma por cada una de las etapas y los procedimientos secundarios.

3.3.1 Lavado de fruta

En el análisis causa-efecto de la etapa del lavado de fruta se obtiene que las principales razones por las que se lava la fruta es porque contiene impurezas, que luego pueden estar presentes en el jugo y por lo tanto es preciso eliminarlas. Esto es causado por la forma de cultivo de la fruta, que, al estar expuestas al aire libre, está en contacto con los componentes que tiene el exterior (polvo, tierra, microorganismos, etc.), por otro lado, la forma de transportar la fruta hacia la planta, puede provocar que más partículas se adhieran a la fruta. Como la fruta puede tener microorganismos en su superficie el lavado de la misma se realiza con agua con cloro que permite su desinfección.

Una vez que la fruta entra en la etapa de lavado, la primera sección donde se vierte la fruta en la cinta transportadora, es realizada por operadores que la distribuyen en la cinta; esto, al ser manual puede no ser uniforme y también puede quedar mucha área sin ser cubierta, por lo que, al momento de efectuar la ducha, el agua puede simplemente caer en la cinta sin tocar la fruta. Lo anterior también puede explicarse debido a la falta de automatización de la etapa y de sensores que permitan detectar cuando la fruta va pasando. Un resumen de esto puede observarse en el diagrama de Ishikawa de la Figura 11.

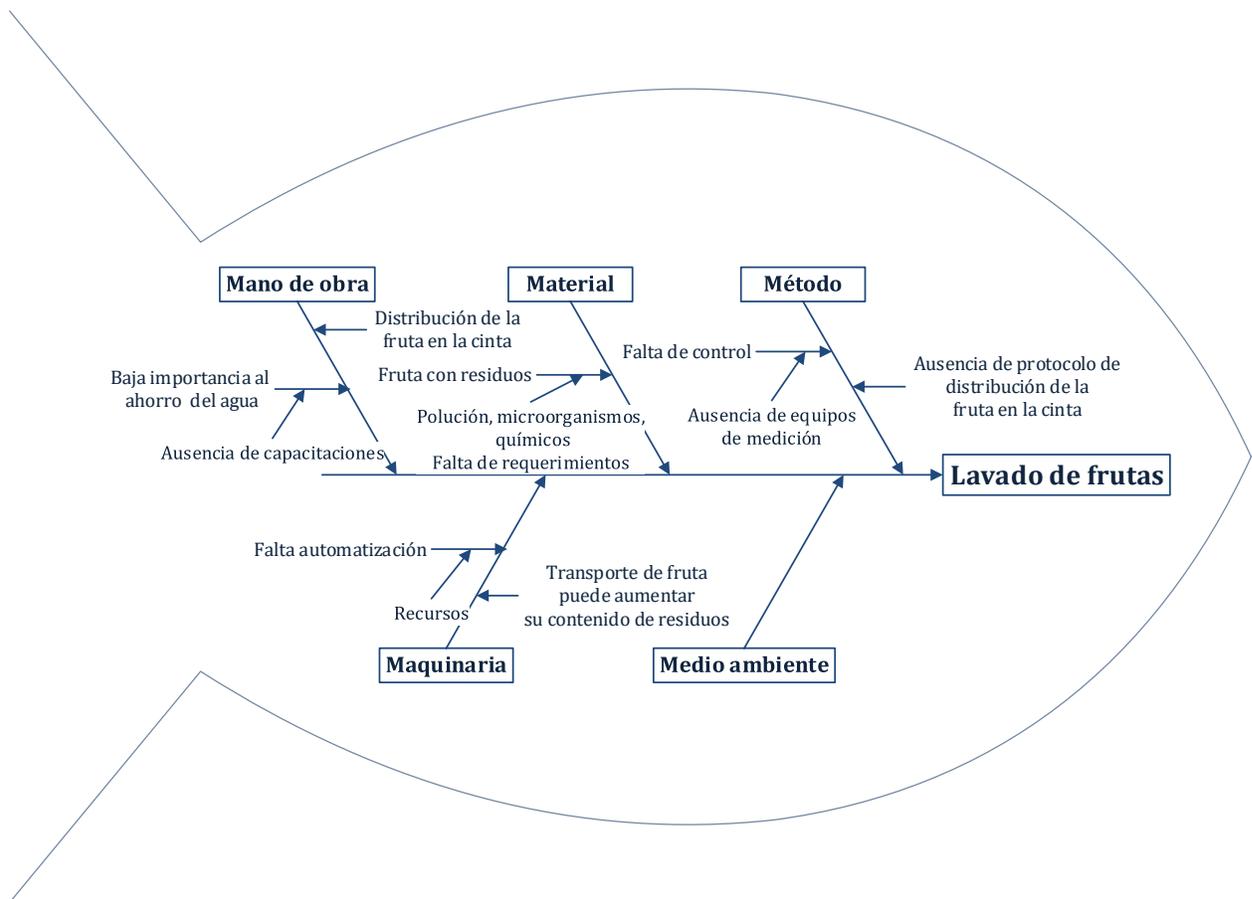


Figura 11: Diagrama de Ishikawa para el lavado de frutas

3.3.2 Enfriamiento de botellas

La etapa de enfriamiento existe porque en el proceso de pasteurización, luego de elevar la temperatura del jugo para eliminar los microorganismos presentes, se debe enfriar rápidamente, para que no se pierdan las propiedades que tiene la fruta.

El método utilizado para enfriar el jugo actualmente, usa como refrigerante agua a temperatura ambiente, debido a que este presenta una alta capacidad calorífica[54], además otros refrigerantes podrían causar impactos no deseados en el medio ambiente. Lo discutido anteriormente se puede ver resumido en el diagrama de Ishikawa de la Figura 12.

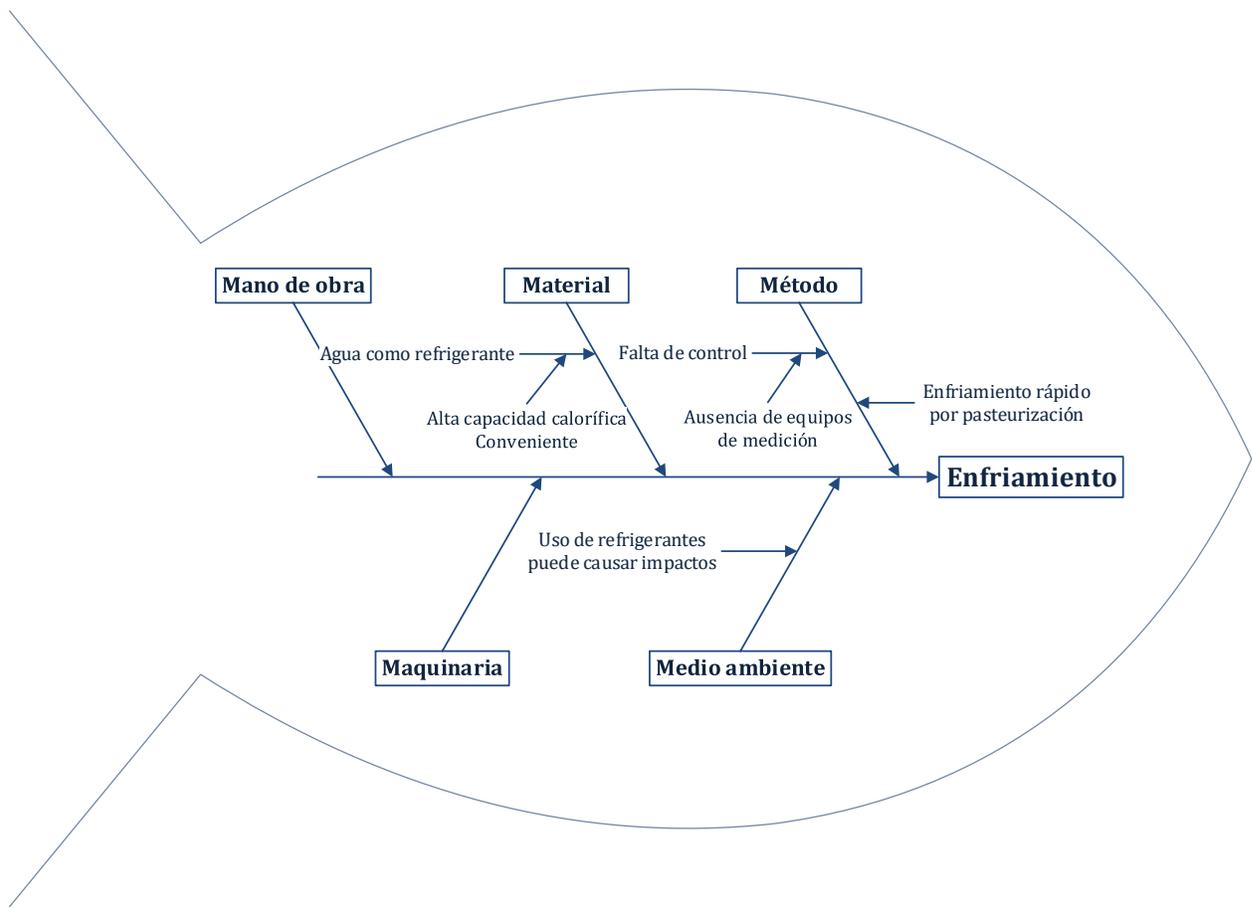


Figura 12: Diagrama de Ishikawa de la etapa de enfriamiento de botellas

3.3.3 Lavado de tapas

El lavado de tapas, surge debido a que en la etapa de envasado no existe una dosificación automática, es decir, lo que ocurre es que las botellas se llenan hasta el borde y es detenido por los operadores, esto genera que a veces el jugo sobrepase este límite y caiga fuera de la botella. La presencia de este jugo en el exterior de la botella lo convierte en un ambiente apto para el crecimiento de microorganismos por lo que se lava el envase para desprender la materia orgánica. Actualmente se remueve el jugo utilizando agua fría a presión, sin embargo, la temperatura del agua utilizada puede no ser suficiente para que la remoción sea eficiente. El diagrama de Ishikawa que sintetiza lo discutido se muestra en la Figura 13.

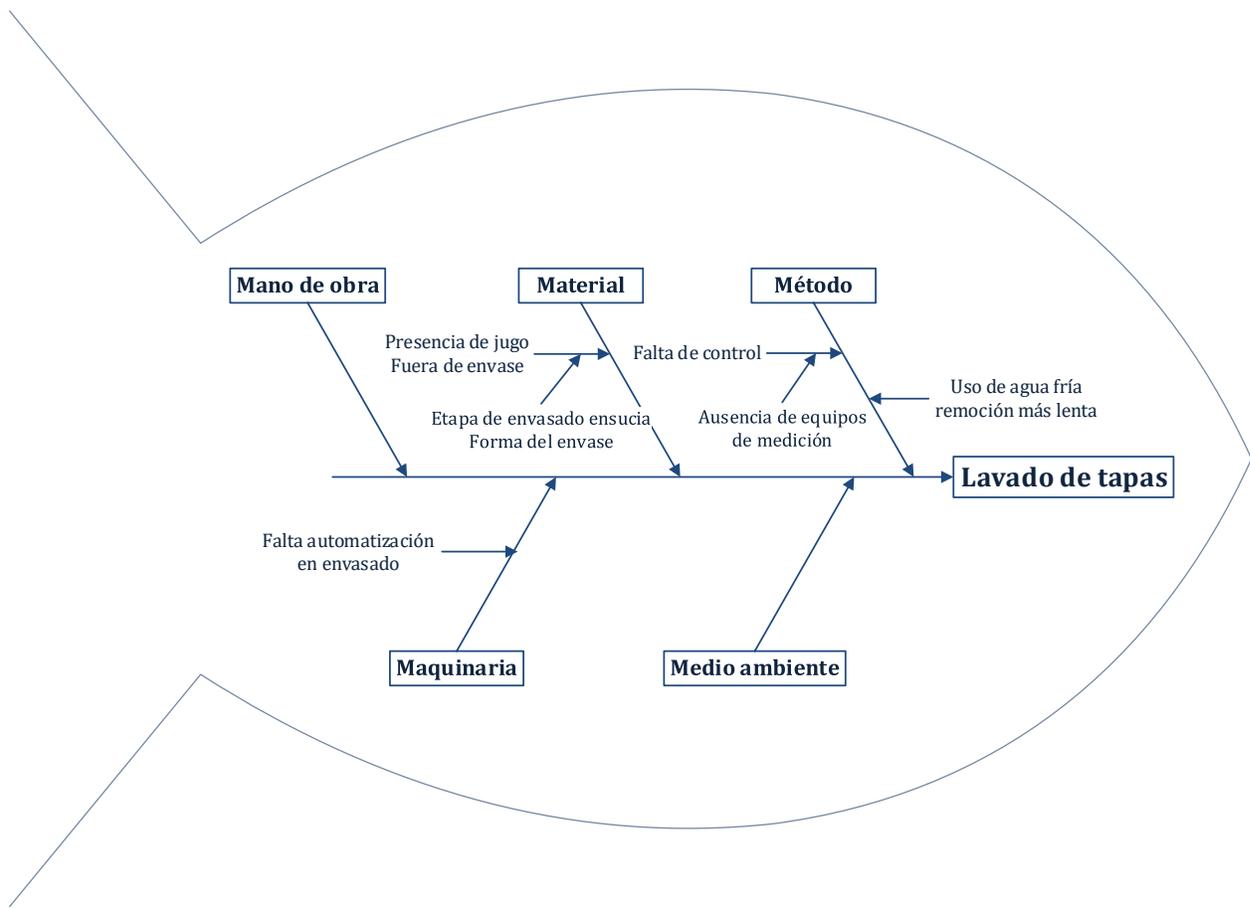


Figura 13: Diagrama de Ishikawa del lavado de tapas

3.3.4 Lavado de equipos

En las empresas de alimentos, en particular en AFE, de acuerdo al reglamento sanitario de los alimentos, es preciso realizar limpieza e higienizar los equipos periódicamente para evitar la contaminación de los alimentos a comercializar, sin embargo, no existe una definición concreta de higienizar ni tampoco protocolos asociados a estos procesos.

El jugo presente en los equipos se remueve utilizando agua con detergente y posteriormente se añade agua clorada para higienizar, algunos equipos son desarmados para poder abarcar todos los puntos por donde opera el proceso.

La frecuencia de lavado de los equipos depende de la planificación de la producción, ya que si bien se deben lavar los equipos cuando termina el turno, también es preciso realizarlo cuando se cambia la fruta a utilizar, lo que podría evitarse si la planificación sólo considerara un tipo de jugo al día o si existiera una línea paralela para poder realizar jugo de dos sabores en un mismo día. El análisis anterior se encuentra condensado en el diagrama de Ishikawa de la Figura 14.

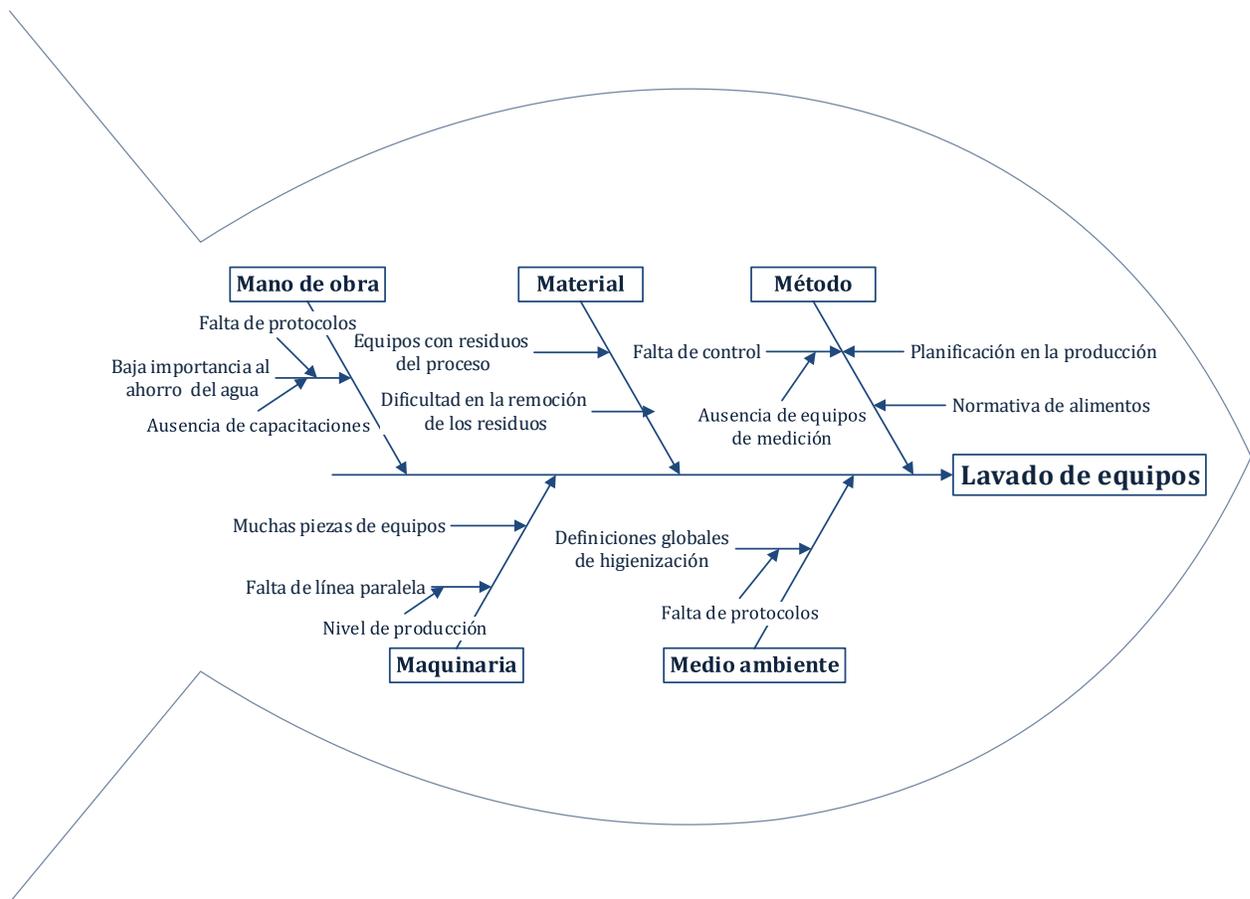


Figura 14: Diagrama de Ishikawa del lavado de equipos

3.3.5 Lavado de pisos

De acuerdo al reglamento sanitario de los alimentos, los pisos deben lavarse al menos una vez al día cuando se termine el turno, pero no se especifica nada más.

El grado de suciedad que existe en el suelo depende de los contaminantes que lleguen a él, a grandes rasgos se encuentra tierra que viene del exterior y jugo que cae del proceso, lo que se debe por un lado a una falta de protocolo de ingreso a la planta y a que se pierde jugo en el proceso, lo que no debiese ocurrir.

En la limpieza actual de los pisos, se utilizan mangueras convencionales que no tienen suficiente presión, por otro lado, no existe una limpieza previa que permita remover sin agua los contaminantes. Lo presentado aquí se sintetiza en el diagrama causa-efecto de la Figura 15.

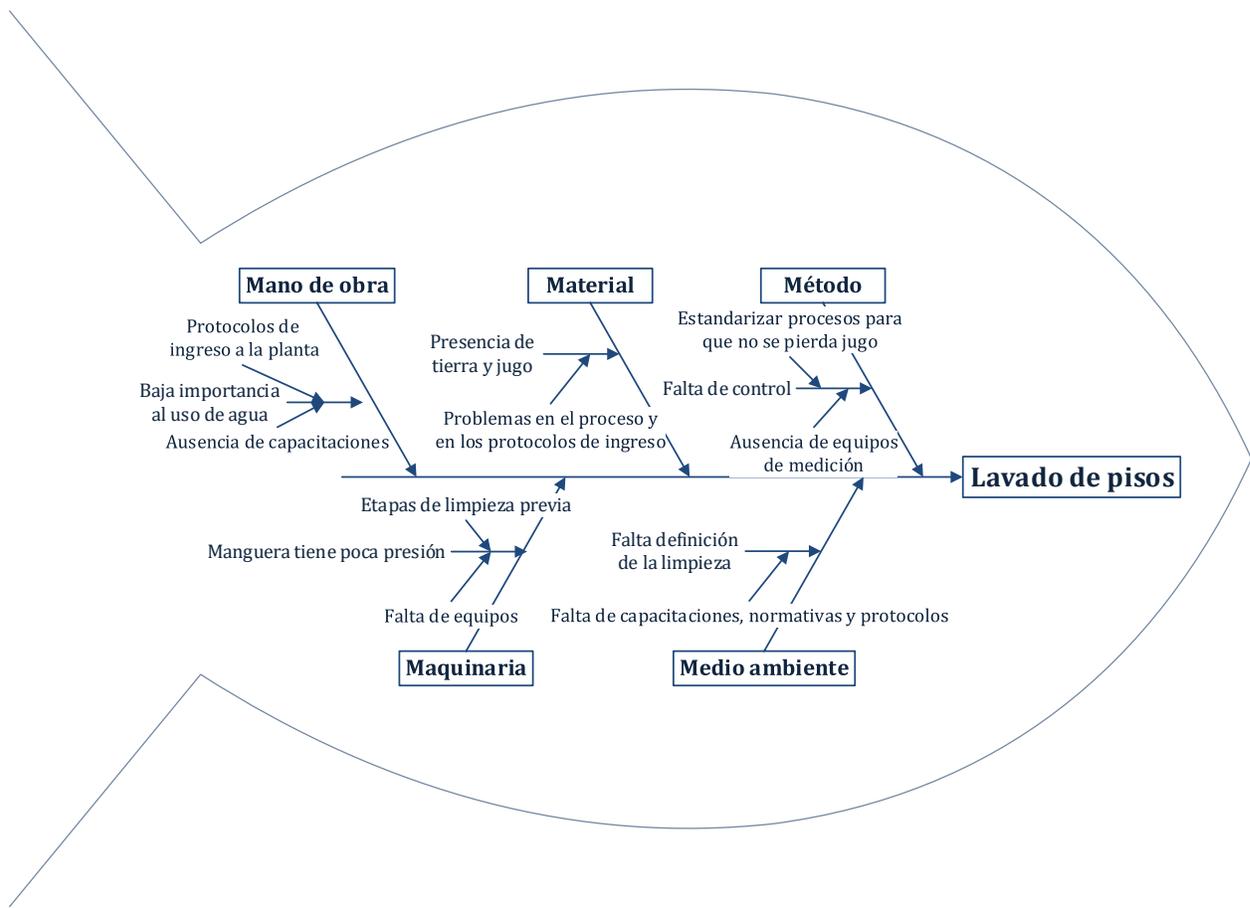


Figura 15: Diagrama de Ishikawa del lavado de pisos

3.3.6 Lavado de bolsas de prensado

La prensa que se utiliza para extraer el jugo de la fruta, no tiene un sistema de limpieza automático, por lo tanto, se sacan las bolsas que contienen la pomasa extraída de la fruta y se lavan manualmente y luego en una lavadora convencional, esto se aleja a un equipo industrial especializado para este tipo de trabajo.

Por otro lado, el uso de detergente puede provocar un gasto adicional de agua ya que también se debe remover, por último, dado que no existe un protocolo asociado al lavado de las bolsas, no existe una regularidad en el uso de agua y depende de los operadores que realicen esta función. En la Figura 16, se presenta el diagrama de Ishikawa que resume lo discutido aquí.

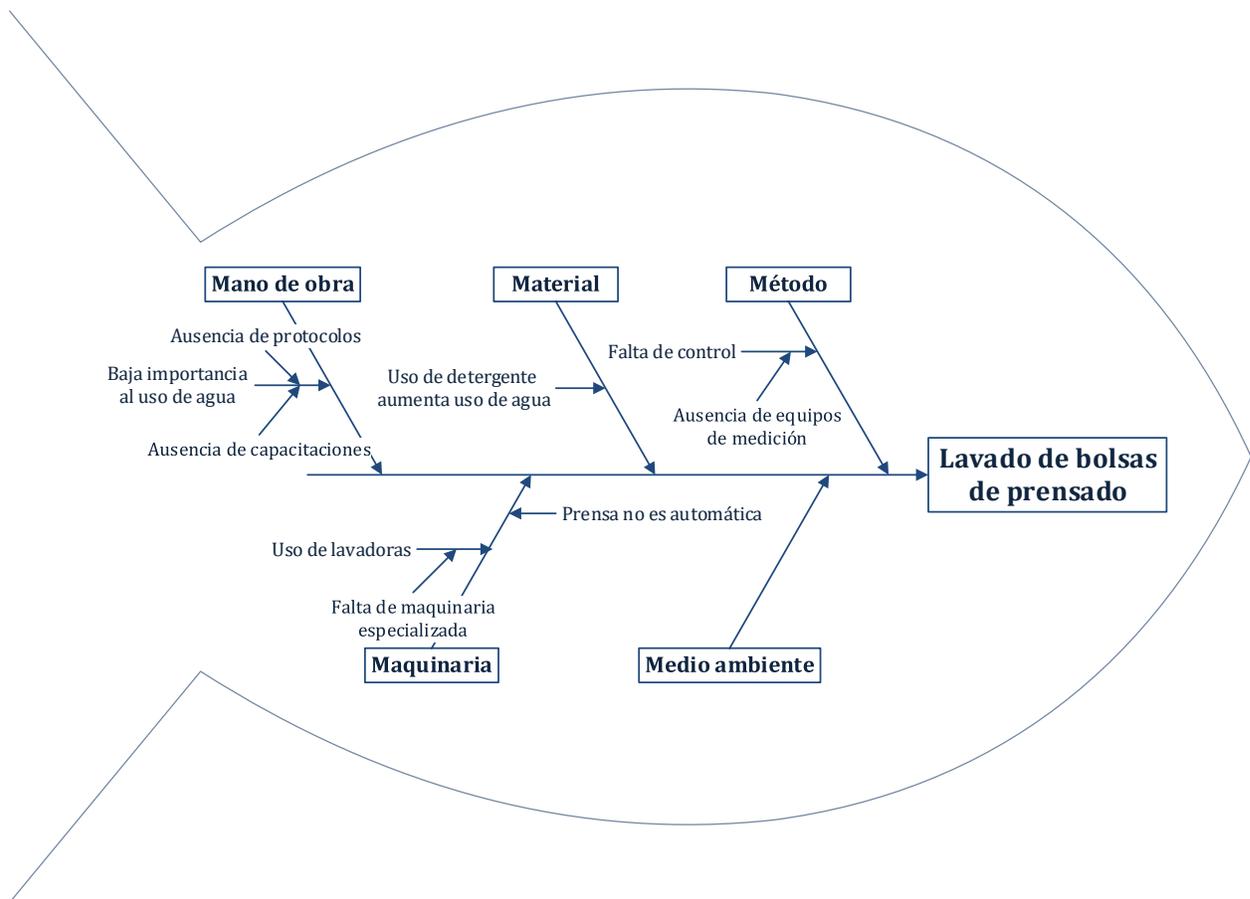


Figura 16: Diagrama de Ishikawa del lavado de bolsas de prensado

3.4 Mejorar

Esta sección tiene como objetivo proponer y evaluar alternativas que permitan disminuir el uso de agua en la planta de jugos sin aditivos, para lo cual se presentará una lluvia de ideas de cómo mejorar la gestión de agua en AFE y cómo a partir de esta surgen las opciones más viables para evaluar.

3.4.1 Alternativas propuestas

De acuerdo a los diagramas de Ishikawa realizados, se crea una serie de propuestas para las etapas de uso de agua, y se realiza para cada una de ellas una tabla comparativa sobre la facilidad de implementación, la operación, los efectos secundarios, los cambios que habrá en el proceso debido a la implementación de esta alternativa y los riesgos asociados.

En base a las tablas comparativas, y a la factibilidad de las alternativas, se definirá cuales alternativas serán finalmente evaluadas técnica y económicamente.

3.4.1.1 Lavado de fruta

Las principales causas del lavado de la fruta son la necesidad desinfectar la fruta y eliminar las impurezas presentes en ésta, además al no ser automatizado el proceso este pierde eficiencia en algunas secciones, así surgen cuatro ideas: sistema de rodillos que permitan remover el polvo e impurezas para después someter las fruta a una etapa de desinfección, limpieza por soplado para remover las impurezas e igualmente añadir una etapa de desinfección, aumento de presión a las boquillas utilizadas actualmente para aumentar la aireación de las duchas utilizadas en este momento por la empresa y por último realizar un lavado de frutas por inmersión. En la Tabla 6 se presentan comparativamente las 4 alternativas propuestas.

Tabla 6: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de frutas

Alternativa propuesta	Método de implementación requerido	¿Cómo sería la operación?	Efectos secundarios	¿Existirían cambios en la secuencia de operaciones?	Riesgos asociados
Sistema de rodillos o esponja	Cambio del sistema de ducha actual por sistema de rodillos	Cinta transportadora automática con rodillos	Contaminación la fruta. Uso de agua en el lavado de rodillos. Dificultad de limpieza de los rodillos	Adición de etapa de desinfección de fruta	Rompimiento de la fruta si el rodillo es muy abrasivo. Que la fruta no quede limpia
Limpieza por soplado	Cambio del sistema actual por un sistema de inyección de aire	Cinta transportadora con aire a presión	Exceso de polvo en suspensión que afecte a los trabajadores	Adición de etapa de desinfección de fruta	Problemas de salud de los trabajadores por el polvo en suspensión. Que la fruta no quede limpia
Aumento de la presión del agua actual	Modificar el equipo cambiando las boquillas actuales por unas de ahorro de agua o agregar línea de aire	Igual a la operación actual	Que el aumento de presión abarque menos área y que no se lave toda la fruta	No	Rompimiento de la fruta si la presión es mucha
Baño de agua	Poner un equipo donde se pueda sumergir la fruta	Se introduce la fruta a una tina con agua	Generar una costra de tierra e impurezas al fondo del equipo	No	No suficiente desinfección

De acuerdo a lo presentado en la Tabla 6, y pensando en los requerimientos de la etapa de lavado de fruta, se decide evaluar el sistema de rodillos que limpien la fruta y luego se desinfecte con agua clorada, ya que es una idea innovadora y se asemeja a la forma alternativa de limpiar la fruta en ausencia de agua, además se evaluará la alternativa de aumento de presión del agua considerando la opciones de cambiar las boquillas

existentes por unas que tengan aireadores que permitan ahorrar agua e inyectar un flujo de aire al actual de agua para generar el mismo efecto. La limpieza por soplado se descarta por los posibles daños que puede causar a los operadores por el polvo en suspensión y el baño de agua porque puede no ser suficiente para desinfectar la fruta y puede resultar difícil la remoción de las impurezas presentes en el agua y equipo.

3.4.1.2 Enfriamiento de botellas

El enfriamiento de botellas de jugo se realiza como una continuación a la etapa de pasteurización, donde se calienta el jugo para inactivar los microorganismos que pudiesen estar presentes. Para no perder las propiedades del jugo se requiere de un enfriamiento rápido. Las opciones que se sugieren para reemplazar la etapa actual son: enfriamiento con aire, uso de un refrigerante distinto al agua y finalmente un baño de agua en vez de la ducha de agua que se utiliza en este momento. En la Tabla 7, se presenta una comparación de las alternativas mencionadas.

Tabla 7: Visión general de las alternativas propuestas para el enfriamiento de botellas

Alternativa propuesta	Método de implementación requerido	¿Cómo sería la operación?	Efectos secundarios	¿Existirían cambios en la secuencia de operaciones?	Riesgos asociados
Enfriamiento con aire	Implementar un sistema de túnel con aire frío impulsado por ventilador	Sistema automático similar al actual	Cambio en la temperatura del aire que afecta a los operadores	Implementar un sistema de evacuación del aire caliente	Que el enfriamiento sea más lento y el jugo pierda sus propiedades
Uso de otro refrigerante	Cambio del sistema actual por un túnel enfriado con un refrigerante	Sistema automático con ingreso manual de botellas	Mantenimiento y recambio del refrigerante	No	Que el enfriamiento sea más lento y el jugo pierda sus propiedades
Baño de agua	Implementar sistema de inmersión de las botellas	Botellas entran a tina de agua que permite que el agua circule por las botellas	Que se utilice más agua de la actual	No	Que el enfriamiento sea más lento y el jugo pierda sus propiedades Que la tina no tenga un recambio de agua adecuada y no se mantengan las condiciones de enfriamiento

En base a lo expuesto en la Tabla 7, se propone analizar el enfriamiento con aire, determinando así cuáles serán las condiciones de operación y si es posible que el jugo se enfríe al ritmo adecuado, por otro lado, se propone utilizar un refrigerante para que enfríe el agua que entra a la etapa de enfriamiento de botellas, el baño de agua no se analizará debido a que es resulta difícil mantener las condiciones de enfriamiento, sin embargo, esto podría analizarse en el futuro considerando el uso de un refrigerante.

3.4.1.3 Lavado de tapas

El lavado de tapas, se debe casi exclusivamente a que la etapa de envasado no tiene un sistema de dosificación y, por lo tanto, el jugo cae afuera de la botella, así se hace necesaria esta etapa de limpieza para que no crezcan microorganismos. Así, surgen 4 alternativas que permiten modificar esta etapa: cambio del sistema de envasado a uno con dosificación, limpieza manual de las botellas, sistema de rodillos con agua que permitiría remover el jugo de la botella y, por último, una limpieza con vapor que permite remover más fácil el jugo que puede estar adherido a la botella. En la Tabla 8 se presentan las cuatro alternativas mostrando sus principales variaciones con el método actual.

Tabla 8: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de tapas

Alternativa propuesta	Método de implementación requerido	¿Cómo sería la operación?	Efectos secundarios	¿Existirían cambios en la secuencia de operaciones?	Riesgos asociados
Mejorar el sistema de envasado	Cambio del sistema de envasado actual por uno con dosificación	Similar al actual, pero con dosificación automática	Aumento de mantenimiento	No existiría etapa de lavado de tapas	Descalibración del equipo y posibilidad de rebalse del jugo
Limpieza manual	Cambio del sistema actual automático por un sistema de limpieza manual	El operador limpiaría cada una de las botellas	Necesidad de mano de obra para esto	No	Que se abra la tapa sin querer y se pierda el vacío
Sistema de rodillo con agua	Incorporar un rodillo a la inyección de agua	Automática igual que la existente	El rodillo se ensuciaría	No	Que la presión que ejerza el rodillo abra la tapa y se pierda el vacío
Sistema de limpieza a vapor	Se cambiaría el sistema actual por una inyección de vapor	Automática, similar a la existente	Se gasta más energía en generar el vapor	No	Que se caliente el jugo ya enfriado

De acuerdo a lo presentado en la Tabla 8, dado que la limpieza manual y con rodillo puede generar que se abra la botella y se pierda el vacío se decide analizar las otras dos alternativas. Por un lado, el cambio en la dosificación del sistema de envasado permitiría eliminar la etapa de lavado de tapas, ya que no caería jugo al exterior del envase, por otro lado, una limpieza a vapor posterior a la etapa de enfriado podría generar que se

vuelva a calentar el jugo, por lo cual se propone evaluar esta alternativa, pero cambiar el orden de estas etapas y realizar la limpieza previa al enfriamiento de las botellas.

3.4.1.4 Lavado de equipos

El lavado de equipos es un procedimiento que realizan todas las industrias de alimentos para resguardar la seguridad e higiene de sus productos. En AFE este procedimiento se realiza con detergente y agua clorada. Así se proponen cuatro opciones para modificar el sistema actual de lavado: limpieza con aire comprimido añadiendo una etapa de higienización, limpieza con hielo seco, limpieza conocida como *clean in place*, que significa que los equipos tienen integrado un sistema de autolimpieza, y la utilización de una hidrolavadora para aumentar la presión con la que se inyecta el agua. En la Tabla 9 se presentan las alternativas mencionadas mostrando una visión general de su implementación.

Tabla 9: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de equipos

Alternativa propuesta	Método de implementación requerido	¿Cómo sería la operación?	Efectos secundarios	¿Existirían cambios en la secuencia de operaciones?	Riesgos asociados
Limpieza con aire comprimido	Contar con un compresor y una línea de aire comprimido	Se inyectaría aire a toda la línea productiva	Que el aire sea insuficiente para remover la fruta que puede estar adherida a los equipos	Añade etapa de higienización	Que queden restos de fruta
Limpieza con hielo seco	Implementar sistema de inyección de hielo seco y compresor	Se inyecta hielo seco de forma manual	Producción de CO ₂ , por lo tanto, se necesita ventilación.	No	Que no haya desinfección completa
Tecnología <i>Clean in Place</i>	Implementar tecnología de limpieza de directamente en los procesos	Operación automática	Instalación de nuevas bombas y tecnologías	No	Que queden zonas contaminadas
Uso de hidrolavadora	Cambio del sistema actual por uno con hidrolavadora	Operación manual	Mayores costos	No	Que el exceso de presión dañe los equipos

De acuerdo a la Tabla 9, dado que la limpieza con aire comprimido puede ser deficiente en la remoción del jugo de las instalaciones y que *Clean in Place* implica recambio de todas las instalaciones, se decide evaluar la alternativa de hielo seco. Dado que el sistema actual de limpieza en AFE utiliza mangueras convencionales para la limpieza, también se evaluará la opción de implementar un lavado con una hidrolavadora.

3.4.1.5 Lavado de pisos

Al igual que para la etapa del lavado de equipos, el lavado de pisos se realiza para mantener la higiene en la producción de alimentos, actualmente esto se realiza con detergente y mangueras convencionales, así se proponen tres alternativas para modificar el sistema actual de limpieza: limpieza en seco que implica añadir una etapa de desinfección, limpieza con vapor y el uso de una hidrolavadora. Estas alternativas se presentan en la Tabla 10, donde además se resumen los posibles conflictos de implementación que pueden tener estas etapas.

Tabla 10: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de pisos

Alternativa propuesta	Método de implementación requerido	¿Cómo sería la operación?	Efectos secundarios	¿Existirían cambios en la secuencia de operaciones?	Riesgos asociados
Limpieza en seco	Compra de equipo de limpieza en seco	Los operadores deben limpiar de forma manual	Cambio cultural que provoque que el recambio de tecnología sea lento	Añadir una etapa de desinfección	No desinfección de los pisos que puedan contaminar el jugo
Limpieza con vapor	Compra de equipo de limpieza a vapor	Los operadores deben limpiar de forma manual	Recambio de piezas del equipo de limpieza	No	Al manipular las botellas, esto puede provocar quemaduras en los operadores
Hidrolavadora	Compra de una hidrolavadora	Los operadores deben limpiar de forma manual	Mantenimiento del equipo	No	No

En base a la Tabla 10, se decide que las opciones a evaluar son la limpieza con un equipo que inyecte vapor y el uso de la hidrolavadora. La limpieza en seco, al no asegurar la desinfección completa del piso, queda descartada del análisis, pero de todas formas se sugiere realizar una limpieza en seco previo a cualquiera de las etapas de limpieza.

3.4.1.6 Lavado de bolsas de prensado

La etapa de lavado de bolsas de prensado surge dado que la prensa existente no cuenta con un sistema de limpieza automático, y, por lo tanto, es necesario limpiar las bolsas utilizadas para extraer el jugo de la fruta, actualmente este procedimiento se realiza de forma manual y luego utilizando una lavadora convencional. Dado lo anterior se sugieren tres alternativas para hacer más eficiente la limpieza de las bolsas: Cambio de la prensa por una autolimpiante, limpieza utilizando aire comprimido y una limpieza utilizando agua a presión. Estas alternativas se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11: Visión general de las alternativas propuestas para el lavado de bolsas de prensado

Alternativa propuesta	Método de implementación requerido	¿Cómo sería la operación?	Efectos secundarios	¿Existirían cambios en la secuencia de operaciones?	Riesgos asociados
Cambio de la prensa por una autolimpiante	Cambio de la prensa utilizada actualmente por una automática con sistema de autolimpiado	Más automática que el sistema actual con un sistema de limpieza automático	Mayor disponibilidad de la mano de obra. Menos tiempo de traslado de las bolsas	No existiría etapas de lavado de bolsas de prensado	Que el consumo de agua sea mayor al actual
Limpieza utilizando aire comprimido	Contar con un compresor con boquillas que permitan eliminar la fruta	Manualmente se anexaría la bolsa al compresor	Mayores costos	Añadir una etapa de desinfección	Existe riesgo de que se rompa la bolsa
Limpieza con agua a presión	Implementar un sistema de envío de agua a presión	Se inyectaría un flujo a contracorriente de agua a presión	Posible mayor consumo de agua	No	Existe riesgo de que se rompa la bolsa

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 11, dado que la compra de un nuevo equipo de prensado para la empresa puede significar una gran inversión y que es más difícil de implementar, y que el aire comprimido no logra una desinfección de la bolsa, se analizará la opción de agua a presión con una hidrolavadora, para así poder eliminar los restos de pulpa presentes en las bolsas.

3.4.1.7 Proceso general

Dado los sistemas actuales utilizados por AFE y de acuerdo a los diagramas de Ishikawa realizados se nota una falencia en cuanto a la existencia de protocolos para todas las etapas de lavado. Así se deja propuesto implementar este tipo de medidas que permitan tener un mejor control en sus operaciones y además que los operadores puedan unificar la manera en la que realizan las limpiezas. También se recomienda modificar la planificación de la producción de forma tal de producir sólo un tipo de jugo al día y así no tener que lavar los equipos más de una vez por turno.

Además, para llevar un control del uso de agua y poder mejorar su gestión de mejor manera, se sugiere añadir a los procesos medidores de flujos que permitan conocer el consumo de agua en las distintas etapas, en especial en aquellas donde se utiliza más. Junto con lo anterior, se recomienda la implementación de sensores o válvulas de corte automático que permitan detener el agua cuando no se esté utilizando o luego de un determinado tiempo, de esta forma se podría disminuir el consumo de agua cuando existan tiempos muertos en el proceso.

Por otro lado, en el caso de que la empresa crezca y se haga necesaria una nueva línea de producción se recomienda adquirir equipos más automatizados que los actuales para así evitar las pérdidas de jugo asociadas a la operación manual y el consumo de agua desmedido debido a la costumbre que se tiene por utilizarla sin control.

Por último, independiente de las opciones particulares para cada una de las etapas, se analizará también la posibilidad de recircular flujos de agua en distintos puntos del proceso para así disminuir el consumo neto de agua fresca que tiene la planta. De acuerdo a los requerimientos de agua presentados en la Tabla 5, debido a que las etapas de lavado de pisos, lavado de equipos y lavado de bolsas de prensado utilizan detergente en su operación no se consideran adecuadas para la fabricación de alimentos, ya que estos compuestos no se pueden ingerir. Por otro lado, a pesar de que la etapa de lavado de botellas no tiene otro tipo de contaminante, actualmente la etapa original no se encuentra operativa, y por lo tanto no entrará en la evaluación. De esta forma, la recirculación de las aguas que se considerarán en el estudio son las de lavado de fruta, lavado de tapas y enfriamiento.

4 SEGUNDO ESCENARIO

Este escenario presenta modificaciones asociadas a la información proporcionada por la empresa luego de la presentación de las alternativas del primer escenario. Además, se presenta el desarrollo de las distintas alternativas a evaluar.

4.1 Mejorar

4.1.1 Modificación de las alternativas

Una vez que se tomó la decisión de evaluar las alternativas presentadas con anterioridad, se realizó una visita a la planta productiva para presentarlas a la empresa, notando así que muchas de estas alternativas se encontraban implementadas en la planta y no habían sido informadas a la autora en visitas anteriores orientadas a caracterizar la línea base, por lo tanto, la estrategia de evaluación debe ser modificada. Aquí se presentan las principales diferencias en el proceso asociadas al cambio de escenario y como varía la evaluación de las alternativas en cada caso.

4.1.1.1 Lavado de frutas

En la etapa de lavado de fruta, se contaba con la información de un sistema de ducha de agua en una cinta transportadora, así se tenía como alternativas a evaluar un aumento de presión en las boquillas y la implementación de un sistema de rodillos, sin embargo, el proceso que realmente tiene la empresa es una ducha de agua utilizando boquillas de ahorro de agua, es decir, que su presión es mayor con respecto a una boquilla convencional y además ya cuentan con un sistema de rodillos que permite voltear la fruta. Así, al ser descartadas las dos alternativas propuestas, se propone evaluar la recirculación del agua de la etapa de lavado de fruta con el tratamiento requerido para poder reutilizar el agua. Lo anterior se ilustra en la Figura 17.

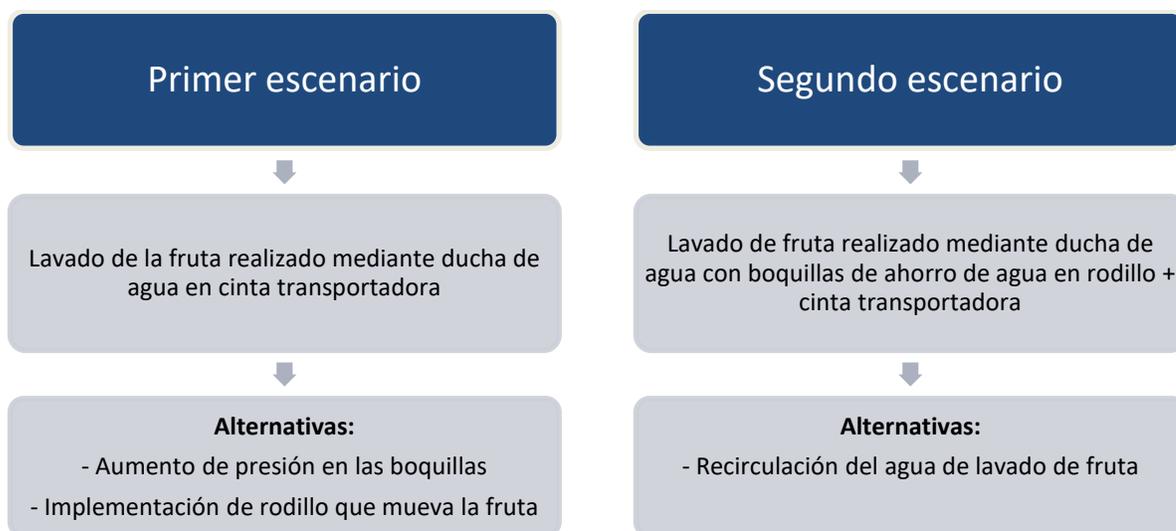


Figura 17: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de frutas

4.1.1.2 Enfriamiento de botellas

La etapa de enfriamiento de botellas no presenta mayores modificaciones con respecto al primer escenario, siendo el principal cambio que la temperatura de entrada del agua fría es temperatura ambiente por lo tanto se tienen modificaciones de esta según la estación del año en que se encuentre. Así, las alternativas a evaluar serán las mismas que en el primer escenario, añadiendo además la reutilización de agua debido a las condiciones de salida del agua mostrada en la Tabla 5. Lo anterior se resume en la Figura 18.

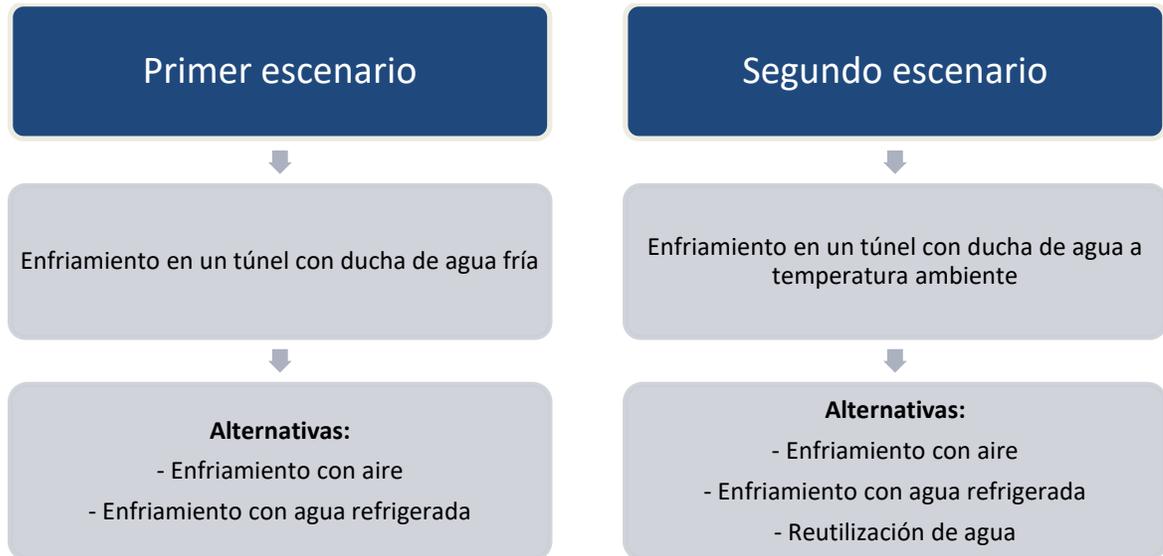


Figura 18: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el enfriamiento de botellas

4.1.1.3 Lavado de tapas

El lavado de tapas, no presenta modificaciones con respecto al primer escenario, por lo que las alternativas a analizar serán las mismas presentadas antes, es decir, baño de vapor antes de la etapa de enfriamiento y cambio en el sistema de dosificación. Esto se muestra en la Figura 18.

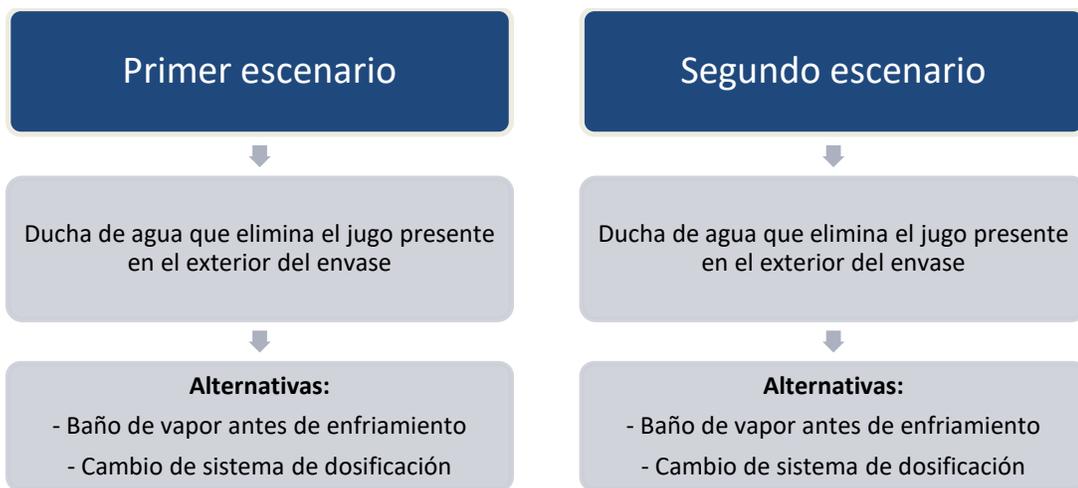


Figura 19: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de tapas

4.1.1.4 Lavado de equipos

En el caso del lavado de equipos, se sabía de la existencia de mangueras convencionales que se utilizaban para este fin, sin embargo, el sistema real de lavado de equipos se realiza con hidrolavadoras, por lo que el uso de hidrolavadoras ya no se evaluará. Un resumen de los cambios de escenarios se muestra en la Figura 20.

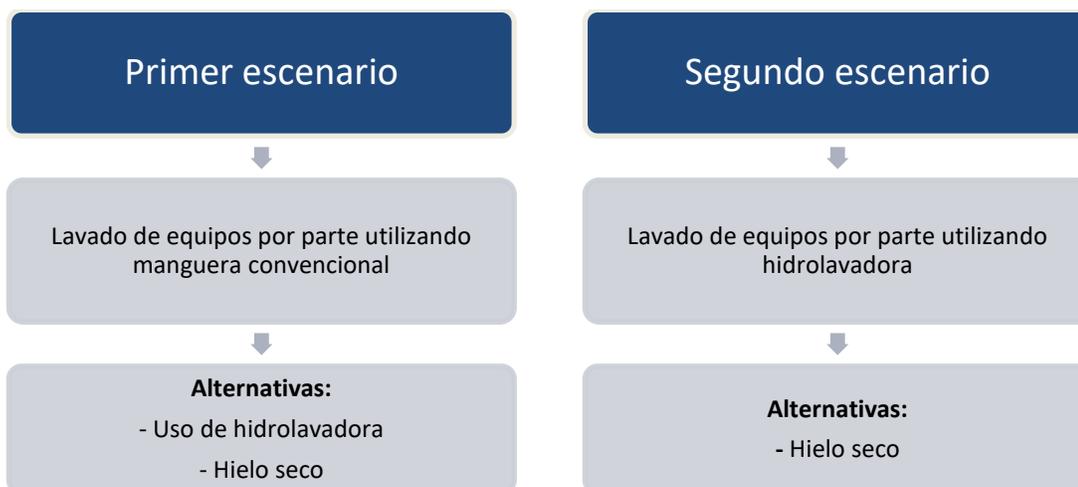


Figura 20: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de equipos

4.1.1.5 Lavado de pisos

En la etapa de lavado de pisos se tenía un sistema de lavado con manguera convencional, pero con la conversación con la empresa se descubrió que es el mismo sistema que se utiliza para lavar los pisos y para lavar los bins utilizados para transportar la materia prima y el producto final, debido a esto, se descartó la idea de un lavado con maquina a vapor, ya que es más difícil lavar los bins con este tipo de implementos, así la alternativa a evaluar es el uso de hidrolavadoras. Estos cambios se muestran en la Figura 21.

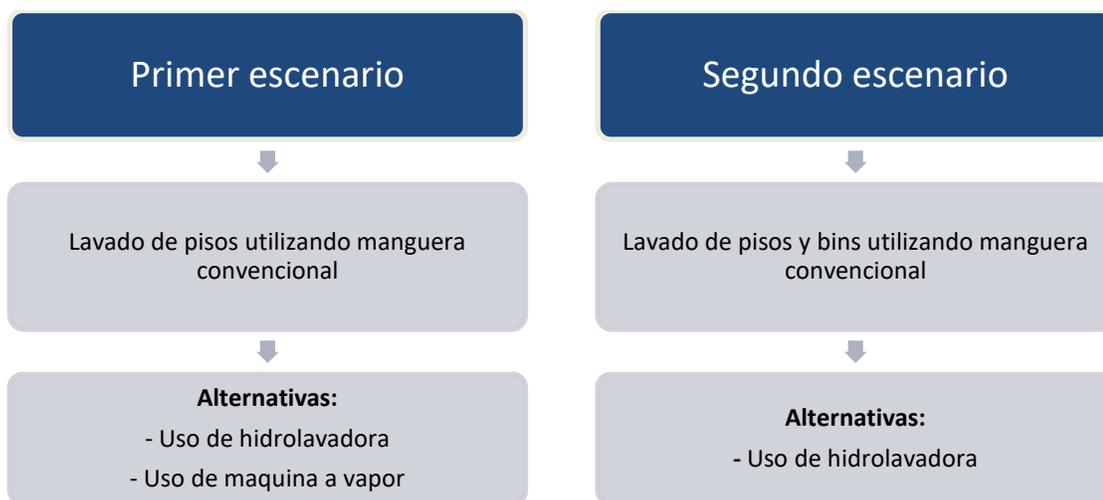


Figura 21: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de pisos

4.1.1.6 Lavado de bolsas de prensado

El sistema de lavado de las bolsas de prensado originalmente consistía únicamente en el lavado manual más el uso de lavadoras convencionales, por lo que la propuesta era usar agua a presión para eliminar de mejor forma las impurezas presentes en las bolsas, sin embargo, actualmente se utiliza una hidrolavadora que cumple esa función por lo que esta etapa no entrará en el análisis posterior. A pesar de esto, se recomienda de todas formas la inclusión de un protocolo de lavado para esta etapa y así tener más consciencia de lo que se realiza. En la Figura 22 se presenta este cambio de escenario.

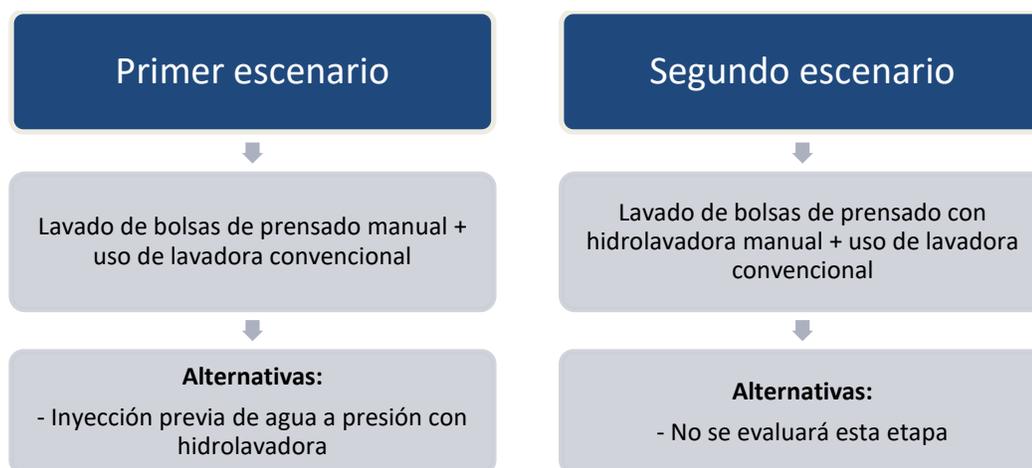


Figura 22: Cambio de escenario en la evaluación de alternativas para el lavado de bolsas de prensado

4.1.2 Evaluación de alternativas

En la evaluación de alternativas, se presentan cada una de las alternativas escogidas con anterioridad y la implementación necesaria para su posible operación, además, junto con ello se presenta la inversión que significaría cada una de estas alternativas al momento de implementarse. La inversión corresponde únicamente al costo de los

equipos requeridos, y no de lo necesario para la operación de las etapas. Por otro lado, se realiza un análisis técnico que permite determinar cuánta agua se utilizaría en este nuevo escenario.

4.1.2.1 Lavado de fruta

4.1.2.1.1 Recirculación de flujos de agua

En la industria de alimentos, es de especial importancia la calidad de agua, debido a los requerimientos de las condiciones de entrada del agua a utilizar en el proceso. En este sentido, para recircular agua, se propone un proceso de reutilización como el de la Figura 23.

El tratamiento convencional permite remover residuos sólidos presentes en el agua, estas tecnologías proporcionan una desinfección mínima, e incluye el uso de tamices, flotación por aire, clarificadores primarios o tratamientos biológicos. Para algunos procesos, tales como el riego de césped, basta con este tipo de tratamiento. Por otro lado, un tratamiento avanzado permite la eliminación de sólidos y bacterias a través de membrana de ultrafiltración o microfiltración, eliminación biológica de nutrientes mediante biorreactores de membrana, eliminación de contaminantes mediante una desinfección.[55]

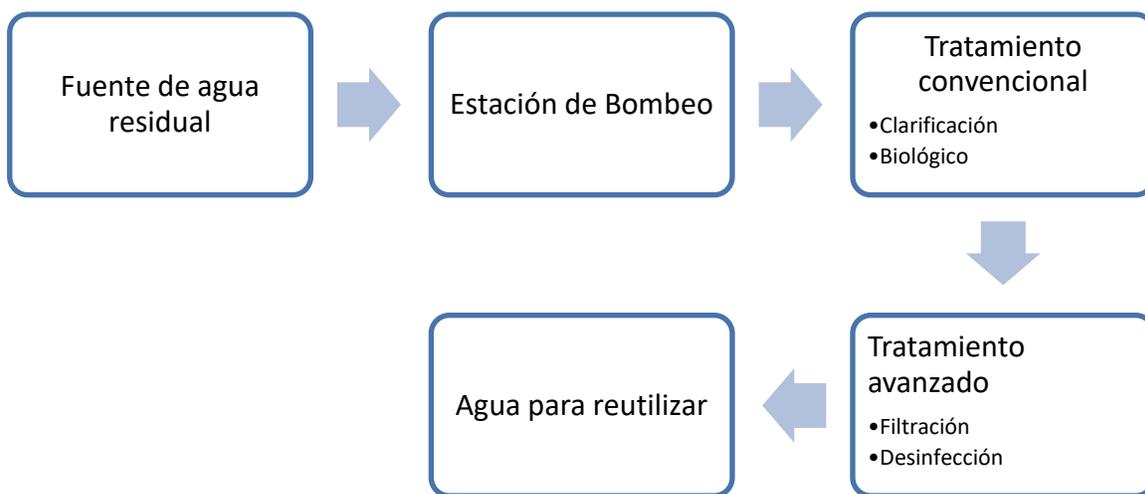


Figura 23: Ejemplo de un proceso de reutilización de aguas en la industria de alimentos[55]

Considerando lo anterior, para efectuar la recirculación de agua de lavado de fruta y lavado de tapas, primero se deben juntar las aguas a recircular en un estanque. Para realizar un primer tratamiento al agua con residuos de fruta, se propone utilizar un filtro rotativo que permita remover las partículas de mayor tamaño presentes en el agua, en segundo lugar, se propone realizar una ultrafiltración que permita eliminar las partículas más pequeñas y finalmente, se escogió un tratamiento de desinfección con cloro que inactiva los agentes patógenos, tales como bacterias[55].

La alternativa de recirculación de agua de las etapas de lavado de fruta y lavado de tapas, implicaría un ahorro diario de $15,4[m^3/día]$, sin embargo, se considera que una vez a la semana se ingresa únicamente agua fresca, por lo que generaría un ahorro mensual de $246 [m^3/mes]$, que corresponde al 72% de lo utilizado por estas etapas actualmente, e involucraría una inversión de \$21.000.000. Un resumen de esto se presenta en la Tabla 12. El detalle de los flujos de agua utilizados, junto con los equipos y sus costos se presentan en el Anexo B.

Antes de implementar esta alternativa, se debe tener la seguridad que los equipos escogidos permitan cumplir con las condiciones de sólidos suspendidos, demanda biológica y desinfección requeridos para la industria alimenticia, por lo que se recomienda realizar un análisis del agua de salida del lavado de frutas y lavado de tapas, para así verificar que los equipos escogidos se adapten a estas condiciones.

Tabla 12: Resumen alternativas de lavado de fruta

Alternativa propuesta	Equipos e implementación requeridos	Flujo de agua usado actualmente $[m^3/día]$	Flujo de agua usado por alternativa $[m^3/día]$	Ahorro de agua diario $[m^3/día]$	Ahorro de agua mensual $[m^3/mes]$	Inversión
Recirculación de flujos de agua	Filtro de membrana Tanque de almacenamiento. Tuberías Bombas	17,1	Se utiliza el mismo flujo de agua, pero se recircula parte de él.	15,4	246	\$21.000.000

4.1.2.2 Enfriamiento de botellas

4.1.2.2.1 Enfriamiento con aire

Una de las alternativas propuestas para disminuir el flujo de agua de la etapa de enfriamiento con agua, es el uso de aire para realizar el enfriamiento. Para esto se consideró que el aire entra al sistema de enfriamiento con una temperatura de $13,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ que es la temperatura promedio de la zona[56], y que sale del mismo con una temperatura de 30°C , que es la temperatura a la que sale el agua utilizada en la actualidad. Así, se realizó un balance de energía, encontrándose que el flujo de aire necesario para disminuir la temperatura de las botellas es de aproximadamente $85 [m^3/min]$. Los cálculos de esto se muestran en el Anexo C.2.

Dado el alto flujo de aire requerido para asegurar que la temperatura de las botellas disminuya de 90°C a 40°C , esta alternativa se considera infactible técnicamente, por lo que no entrará en el análisis económico.

4.1.2.2.2 Enfriamiento con agua refrigerada

Para evaluar la alternativa de realizar el enfriamiento con agua refrigerada, se propone utilizar el mismo equipo utilizado en la actualidad para enfriar botellas, pero el agua de entrada al proceso tendrá una temperatura inferior (5°C).

Para realizar esto, es preciso contar con un equipo que enfríe agua. De esta forma, se escoge un equipo enfriador de agua que está compuesto por un compresor, un condensador, un dispositivo de expansión y evaporador. El equipo enfriador requiere un sistema de bombeo que impulse el agua hacia el enfriador, una bomba que succione el agua desde el enfriador, y un estanque que permita almacenar el agua.

Como se muestra en la Tabla 13, la alternativa de enfriar el agua antes de ingresarla al equipo de enfriamiento de botellas generaría un ahorro de 122 [m^3/mes], que corresponde a un 35% de lo utilizado en la actualidad por esta etapa, y tendría una inversión de \$6.300.000. Los detalles de flujos de agua y de los costos de estos equipos se presentan en el anexo C.3.

Es importante tener en cuenta que la temperatura de entrada se considera el promedio de la temperatura de la zona, sin embargo, en invierno esta temperatura puede ser menor y en verano todo lo contrario, por lo que los cálculos pueden ser modificados de acuerdo a esto.

4.1.2.2.3 Reutilización de agua de enfriamiento

El agua que sale de la etapa de enfriamiento, debido a sus componentes, se puede reutilizar en otras etapas. Además, dado que en la etapa de enfriamiento esta agua alcanza una temperatura de aproximadamente 30°C, que es superior al agua fresca que proveniente de fuentes subterráneas, se propone reutilizar esta agua en las etapas de limpieza tanto de instalaciones como de pisos.

Dado que el agua no presenta mayores contaminantes, no resulta necesario realizar un tratamiento de las aguas antes de ser reutilizadas, por lo que para la implementación de esta alternativa es necesario contar con la cañería adecuada para transportar el agua que por el reglamento sanitario de los alimentos debe ser de acero inoxidable[53], bombas que permitan impulsar el agua y un estanque que almacene el agua mientras no se esté utilizando.

El agua reutilizada de esta etapa, será reutilizada solo una vez y luego iría al tratamiento de RILes, pero el volumen de agua que se reutiliza equivale a un ahorro diario de consumo de agua fresca que no significa un ahorro directamente en esta etapa, pero si en el proceso general de Jugo AFE. La implementación de esta alternativa, tendría una inversión de \$7.000.0000 lo que se presenta en la Tabla 13, junto con el ahorro que implica la alternativa. El detalle de los cálculos y los equipos seleccionados para la evaluación y sus costos, se presentan en el Anexo D.

El flujo de agua a reutilizar es de 16 [$m^3/día$], lo que correspondería a 320 [m^3/mes], sin embargo, es importante destacar en este punto, que según las estimaciones de flujo realizadas para la etapa de lavado de pisos y de equipos (4,4 [$m^3/día$] y 1,1 [$m^3/día$] respectivamente), el potencial flujo a reutilizar es mayor que el utilizado en estas etapas, por lo que quedaría un porcentaje del flujo disponible para otras aplicaciones. El flujo de agua sobrante, podría utilizarse en otras aplicaciones tales como el lavado de botellas, de

bolsas de prensado o de frutas, pero antes de implementarlo habría que realizar un análisis de factibilidad para que se asegure que la temperatura más elevada del agua no afecte a las características del proceso.

Tabla 13: Resumen alternativas de enfriamiento de botellas

Alternativa propuesta	Equipos e implementación requeridos	Flujo de agua usado actualmente [m ³ /día]	Flujo de agua usado por alternativa [m ³ /día]	Ahorro de agua diario [m ³ /día]	Ahorro de agua mensual [m ³ /mes]	Inversión
Cambio de enfriamiento con agua a temperatura ambiente por enfriamiento con agua enfriada	Sistema de enfriamiento	17,6	11,5	6,1	122	\$6.300.000
Reutilización de agua para utilizarla en limpieza de pisos e instalaciones	Tanque de almacenamiento. Tuberías Bombas	17,6	Se utiliza el mismo flujo, pero se reutiliza parte de él.	16	320	\$7.000.000

4.1.2.3 Lavado de tapas

4.1.2.3.1 Cambio de sistema de envasado

Para eliminar el lavado de tapas del proceso, se propone un sistema de envasado que posee una alta precisión en el volumen y velocidad de llenado, que cuenta con un sistema de llenado que asegura que las botellas queden limpias y no se pierda jugo en el proceso. Además, tiene un sistema de tapado automático que eliminaría el tapado manual realizado actualmente.

El equipo cotizado viene con equipos accesorios que ya se encuentran en AFE, por lo que se debe evaluar la compatibilidad de estos para decidir si es necesario incluirlos en el equipo. En total, el equipo con sus accesorios tiene un valor de \$17.500.000 e implica un ahorro mensual de 26 [m³], que corresponde al 100% de lo utilizado en la actualidad en esta etapa. Los detalles de la elección de equipo, de los costos y ahorro de agua, se presentan en el anexo E.3, además en la Tabla 13 se presenta un resumen de la alternativa presentada.

Dado que actualmente las botellas se tapan de forma manual, la implementación de un equipo más automatizado, provocaría la disponibilidad de los operarios que actualmente realizan esa labor, y por lo tanto podrían realizar otro tipo de operaciones al interior de la planta o disminuir los costos de mano de obra del proceso.

Por otro lado, el hecho de que el jugo no se pierda en la etapa de envasado, genera además una disminución en el jugo presente en el piso y en los equipos, por lo que facilitaría la limpieza de estas secciones.

4.1.2.3.2 Limpieza con vapor

Dado que el sistema de envasado actual, es un equipo de llenado por gravedad que no cuenta con un sistema de dosificación, las botellas de jugo quedan con restos de fruta en su exterior. Actualmente esto se elimina utilizando agua fría a presión. La alternativa aquí presentada utilizaría vapor de agua a alta presión para limpiar las botellas y existiría un cambio en el orden de la secuencia de operaciones, es decir, la limpieza se realizaría antes de la etapa de enfriamiento.

Para realizar la estimación de costos, se tomó como referencia un equipo de limpieza a vapor portátil, sin embargo, antes de tomar una decisión al respecto, se recomienda evaluar la factibilidad de implementar una línea de vapor en la planta, esto dado que la empresa ya cuenta con una caldera. El ahorro que implicaría esta alternativa en términos de agua es 6 [m³/mes], que corresponde al 23% de lo utilizado en la actualidad por el lavado de tapas, y tendría un costo de inversión de \$1.130.000. El detalle de los cálculos de esta alternativa se encuentra en anexo E.2, y un resumen de la alternativa se muestra en la Tabla 14.

Por otro lado, es importante recalcar que la manipulación del vapor, debido a su temperatura, es más compleja que el agua, por lo que los operadores debiesen tener una protección adicional para protegerse de las altas temperaturas.

Tabla 14: Resumen alternativas de lavado de tapas

Alternativa propuesta	Equipos e implementación requeridos	Flujo de agua usado actualmente [m ³ /día]	Flujo de agua usado por alternativa [m ³ /día]	Ahorro de agua diario [m ³ /día]	Ahorro de agua mensual [m ³ /mes]	Inversión
Cambio del sistema de envasado por uno con dosificación	Equipo de envasado de líquidos	1,3	0	1,3	26	\$17.500.000
Limpieza previa al enfriamiento con vapor de agua	Equipo de limpieza a vapor	1,3	1	0,3	6	\$1.130.000

4.1.2.4 Lavado de equipos

4.1.2.4.1 Limpieza criogénica

Para reemplazar el uso de agua en el lavado de equipos se evaluó la alternativa de limpieza criogénica o limpieza con pellets de hielo seco, que es un método de limpieza no abrasivo y que no contiene contaminantes secundarios ya que no utiliza químicos o solventes de ningún tipo. Este tipo de limpieza es idónea para la industria de alimentos y ha sido aprobada por la agencia de normas alimentarias para descontaminar efectivamente superficies con salmonela, E.coli y listeria, por otro lado se ha demostrado que puede llegar a disminuir hasta un 80% los tiempos de limpieza[57].

Para utilizar la limpieza criogénica es necesario contar con un compresor de aire, pellets de hielo seco, que son una forma solidificada de CO_2 obtenido a una temperatura de $-79^{\circ}C$ y un equipo de limpieza criogénica. Para la obtención del hielo seco se puede invertir en una pelletizadora de hielo seco o comprar los pellets de hielo seco[58]. En esta ocasión se considerará la compra del pellet de hielo seco, pero en el futuro se podría considerar la compra de una pelletizadora teniendo un suministro constante de CO_2 .

El uso de la alternativa de hielo seco, generaría un ahorro de $22 [m^3/mes]$, que corresponde al 100% de lo utilizado en la actualidad en el lavado de equipos, e implicaría una inversión de 32 millones de pesos chilenos, además implicaría un gasto mensual de \$1.280.000 en conceptos de hielo seco. A simple vista, el valor de esta alternativa se ve elevado comparado con el flujo de agua que permite ahorrar, sin embargo, hay que tener en cuenta que, al ser una tecnología emergente, este valor podría disminuir en los próximos años, siendo así una alternativa más factible. Los detalles de esta alternativa se presentan en el E.3.1 y un resumen del ahorro y de la inversión se presenta en la Tabla 15.

Es importante destacar que, para manejar los equipos de limpieza con hielo seco, los operadores deben contar con sus elementos de protección personal (protector auditivo, guantes y anteojos de seguridad), además el espacio de trabajo debe tener una adecuada ventilación y suministro constante de aire fresco.

Tabla 15: Resumen alternativas de lavado de equipos

Alternativa propuesta	Equipos e implementación requeridos	Flujo de agua usado actualmente $[m^3/día]$	Flujo de agua usado por alternativa $[m^3/día]$	Ahorro de agua diario $[m^3/día]$	Ahorro de agua mensual $[m^3/mes]$	Inversión
Uso de la tecnología de limpieza con hielo seco	Compresor de aire Equipo de limpieza criogénica Contenedor de hielo seco	1,1	0	1,1	22	\$32.000.000

4.1.2.5 Lavado de pisos

4.1.2.5.1 Uso de hidrolavadora

Actualmente, la etapa de lavado de pisos incluye el lavado de bins utilizados en el proceso y este proceso se realiza con mangueras convencionales y detergente. La alternativa a evaluar es el uso de una hidrolavadora que inyecta agua a mayor presión, y por lo tanto presenta más eficiencia en la limpieza de los pisos. Para realizar los cálculos se tomaron como referencias los flujos de agua con manguera y con hidrolavadora y se consideró que el proceso de limpieza de pisos con ambas tecnologías involucra el mismo tiempo de operación.

La alternativa propuesta generaría un ahorro de 26[m³/mes] que corresponde al 30% de lo utilizado en la actualidad, e involucraría una inversión de la hidrolavadora de \$1.600.000. Un resumen con el ahorro de agua y la inversión necesaria para implementar esta alternativa se observa en la Tabla 16. Los detalles de los cálculos, inversión y equipos escogidos se presentan en el Anexo G.

Es importante tener en consideración que el aumento de presión del agua podría generar la destrucción parcial de los bins utilizados en caso de que estos no sean muy firmes y es algo que se debe evaluar antes de implementar esta alternativa.

Tabla 16: Resumen alternativas de lavado de pisos

Alternativa propuesta	Equipos e implementación requeridos	Flujo de agua usado actualmente [m ³ /día]	Flujo de agua usado por alternativa [m ³ /día]	Ahorro de agua diario [m ³ /día]	Ahorro de agua mensual [m ³ /mes]	Inversión
Cambio del sistema actual de mangueras convencionales por hidrolavadoras	Hidrolavadora	4,4	3,1	1,3	26	\$1.600.000

Independiente de la alternativa aquí presentada, de acuerdo a lo planteado en el diagrama de Ishikawa de la Figura 15, uno de los principales problemas detectados es que no se presenta un protocolo de ingreso a la planta, por lo que se recomienda estandarizar esto ya sea mediante la implementación de un limpiabotas o de protectores desechables para botas que disminuyan los contaminantes presentes en el piso.

4.1.3 Comparación de alternativas

En este ítem, se realizará una comparación de las alternativas propuestas, para esto se tomarán como parámetros de comparación, el ahorro de agua que presenta cada una de estas alternativas, la inversión respectiva, y luego se buscará evaluar la eficiencia de estas alternativas comparando el cociente de flujo ahorrado de agua y costo de inversión.

4.1.3.1 Ahorro de agua mensual

Como se muestra en la Figura 24, las alternativas que presentan mayor ahorro de agua en orden decreciente son la reutilización de agua de enfriamiento, la recirculación de agua de lavado de frutas y de lavado de tapas y el enfriamiento previo de agua para enfriar las botellas. Estas tres alternativas, corresponden justamente a las etapas del proceso donde se utiliza la mayor cantidad de agua (Ver Tabla 4), y por lo tanto son las etapas que tienen más potencial en cuanto a la disminución de agua.

Por el otro lado, la alternativa que presenta un menor ahorro de agua, corresponde a la limpieza de tapas con vapor, y justamente es la etapa que genera menor ahorro porcentual (23%), esto tiene sentido ya que esta etapa solo involucra un cambio de fase en el agua para realizar la limpieza, por otro lado, al limpiar con vapor el gasto de

energía en obtener el vapor puede ser elevado y provocar que la alternativa no resulte atractiva económicamente.

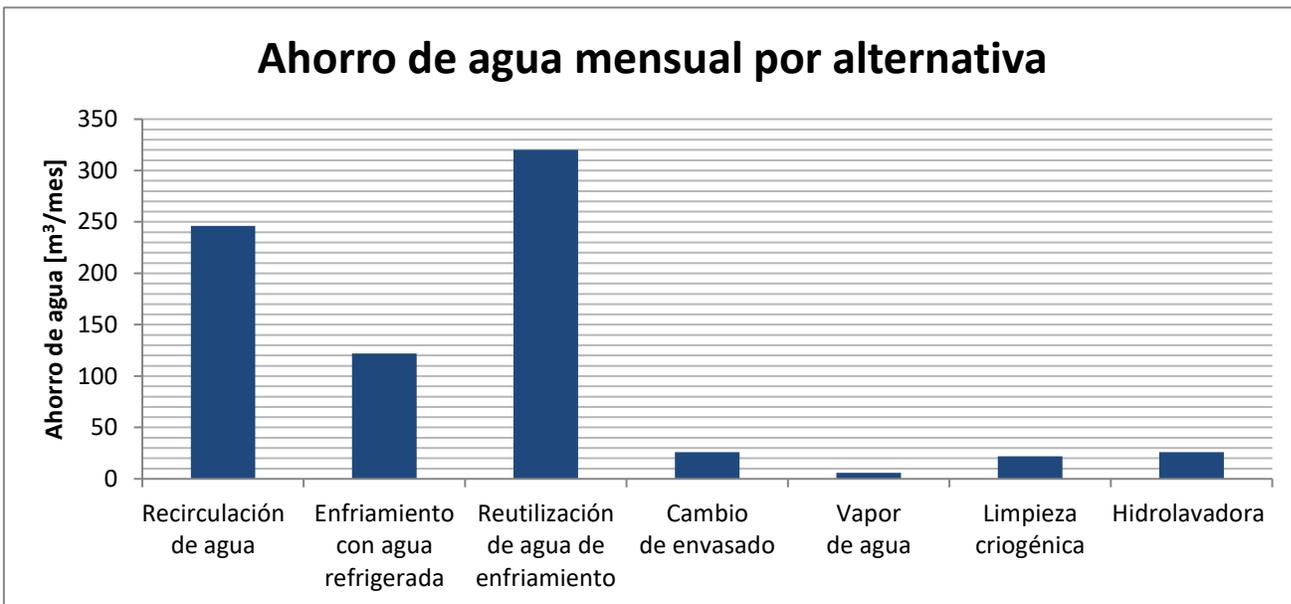


Figura 24: Gráfico de ahorro de agua mensual por cada una de las alternativas de ahorro de agua

4.1.3.2 Inversión

En la Figura 25 se muestra la inversión que debe realizarse para las distintas alternativas, allí se ve que las alternativas con un mayor valor son, en orden decreciente, la limpieza criogénica o con hielo seco, la recirculación de agua de lavado de frutas y de lavado de tapas y por último el cambio de sistema de envasado. Esto tiene sentido, ya que en la primera alternativa y en la tercera, se requiere un recambio completo de tecnología, y en el caso de la recirculación, la inclusión de una línea paralela de tratamiento de agua, lo que conlleva un mayor número de equipos y, por ende, un mayor gasto.

En contraste, las alternativas con un menor costo, y por ende las que resultan interesantes en términos económicos, corresponden a las de limpieza por vapor de agua y uso de hidrolavadora, que corresponden a equipos más simples que permiten utilizar el agua de una forma más eficiente, ya sea por medio del vapor o por la inyección de agua a mayor presión.

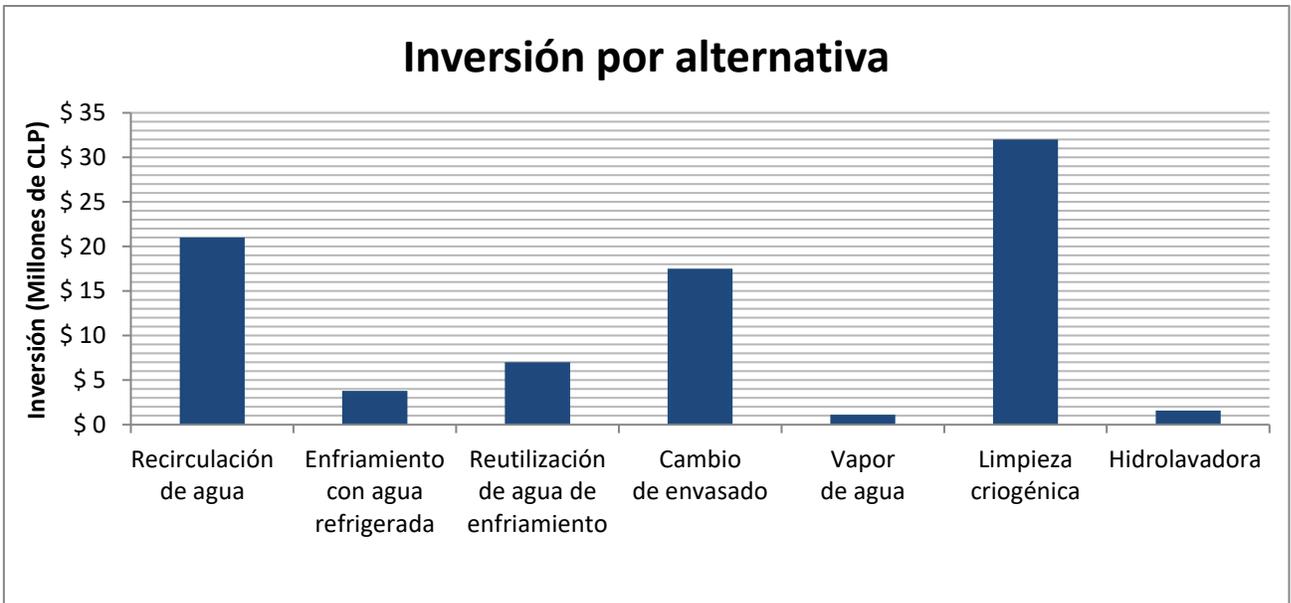


Figura 25: Gráfico de la inversión de cada una de las alternativas de ahorro de agua

4.1.3.3 Inversión por ahorro de agua mensual

En la Figura 26, se presenta una comparación entre los valores mencionados anteriormente, así se calcula la razón entre la inversión y el ahorro mensual por alternativa, obteniéndose así el costo específico del metro cúbico ahorrado. Como se muestra en el gráfico, las alternativas que presentan una mayor inversión por metro cúbico son la limpieza criogénica, seguida por el cambio de envasado. Ambas alternativas son las únicas que presentan un ahorro del 100% en el uso de agua, por lo que se justificaría una mayor inversión para ellas.

Por el contrario, las alternativas que presentan menor inversión por metro cúbico de agua ahorrado son la reutilización de agua de enfriamiento y el enfriamiento con agua refrigerada, seguidas del uso de hidrolavadora y recirculación de aguas de lavado de fruta y lavado de tapas. Tres de estas alternativas, corresponden a las dos etapas del proceso que tienen mayor consumo de agua, por lo que resultan propuestas más atractivas para reducir el consumo de agua.

Es importante destacar que en el caso de la reutilización de agua de enfriamiento no se consideró ningún tratamiento de las aguas, pero eventualmente, por las normativas de higiene, podría ser necesaria la inclusión de este, y por lo tanto aumentaría el costo. También cabe destacar que, en el caso del enfriamiento del agua, se hace necesaria una mantención permanente de los equipos e implica un consumo energético que no está incluido en la inversión.

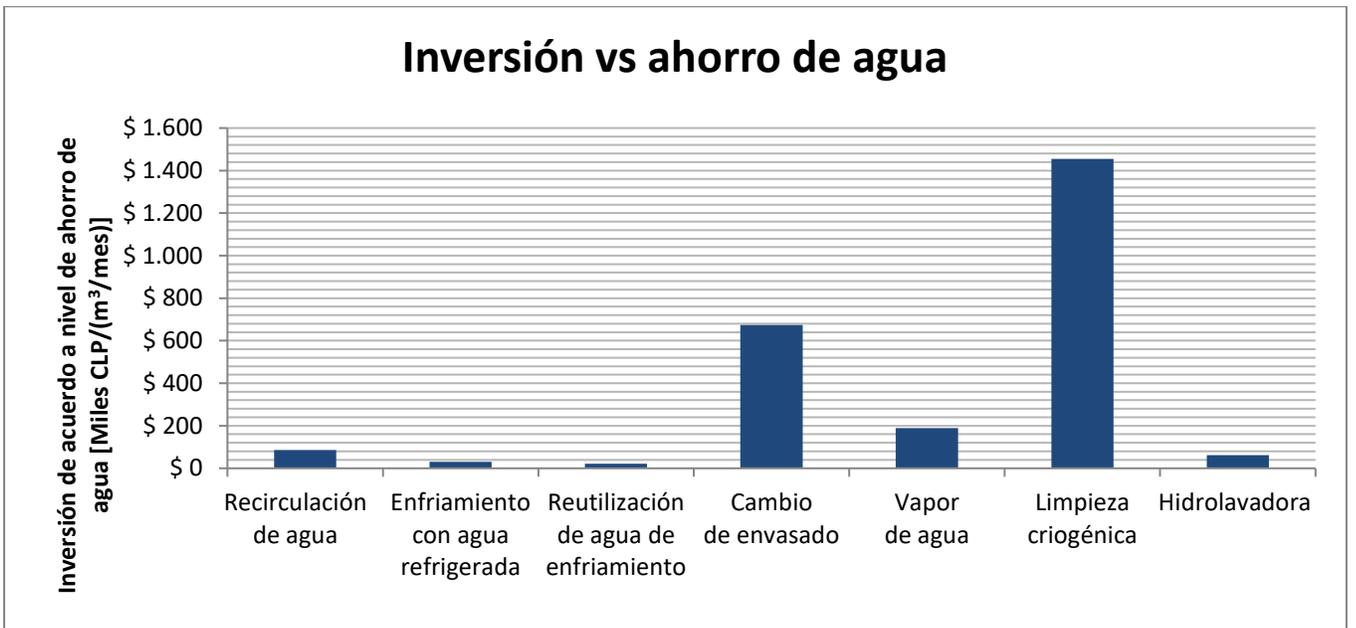


Figura 26: Gráfico de inversión versus ahorro de agua por alternativa

5 DISCUSIONES GENERALES

Uno de los principales problemas encontrados es la baja importancia que se le da al cuidado del agua en la planta de jugos, lo que a su vez está causado por la escasa sensibilización y educación que existe en Chile en torno al cuidado del medio ambiente. Por otro lado, existe una costumbre por parte de las personas en utilizar agua para las operaciones de lavado. Esto podría mejorarse con la inclusión de capacitaciones y protocolos al interior de la planta, que permitan conocer la relevancia de las buenas prácticas en cuanto al ahorro del agua.

Lo dicho hasta aquí implica además que existen pérdidas de agua asociadas a la operación manual de las etapas del proceso, dado que no se cuenta con sensores que permiten detener el mismo cuando este no se encuentre en funcionamiento. Por otro lado, existen mejoras en el ahorro de agua que se podrían hacer efectivas implementando una mejor planificación en las líneas de producción, como es el caso del lavado de los equipos cada vez que se realiza un cambio en la fruta a procesar.

El ahorro de agua estimado tiene, en cada caso, un nivel de incertidumbre, pues la mayoría de los flujos utilizados para describir el escenario actual de Jugos AFE fueron inferidos a partir de información disponible en planta. Este punto es muy importante de destacar, ya que la empresa no cuenta con sistemas de medición de flujo; luego, no conoce el gasto de agua que tienen efectivamente, ni tampoco el flujo de agua que ingresa al tratamiento de RILes. La ausencia de sistemas de medición y control hace menos robusto el análisis numérico, siendo necesario tomar supuestos que permitieran dar con un valor estimado.

Los gastos de inversión de las alternativas presentadas corresponden únicamente a los gastos de los equipos necesarios, pero no incluyen los gastos de implementación que se requieren, es decir, gastos de construcción e instalación de los equipos. Tampoco se tiene en consideración los costos de mantención asociada a estos equipos, ni el tiempo que se debe invertir en ella.

Además, no se consideran los costos de operación de los equipos, que podrían generar una diferencia al momento de escoger la alternativa a implementar. Como se mencionó en el desarrollo de las alternativas, existen algunas de ellas, en particular la de limpieza criogénica de los equipos, que involucran un gasto permanente en insumos, elevando sustancialmente el costo de operación de la alternativa.

Por otro lado, de acuerdo a lo analizado para cada una de las alternativas, existen algunas de ellas que tienen otras ventajas o desventajas más allá de lo económico, por ejemplo, en el lavado de tapas, la alternativa de cambiar el sistema de envasado, al incluir un equipo más automatizado que el existente, permite disminuir la carga actual de la mano de obra, dado que las botellas ahora serían selladas por el mismo sistema de envasado en vez del cerrado manual que se realiza en la actualidad. Además, esta

alternativa implicaría la eliminación de la etapa actual de lavado de tapas, ya que no existiría residuo de jugo que eliminar dado el sistema de dosificación.

En el caso del enfriamiento, la alternativa de agua refrigerada resulta atractiva a nivel económico, sin embargo, la forma de definir el flujo de agua ahorrado presenta una mayor incertidumbre que la reutilización, debido a los cambios de temperatura que tiene el agua de entrada en las diferentes épocas del año y se tomó en consideración una temperatura promedio para todo el año.

Para la etapa de lavado de pisos, dado que el lavado de equipos se realiza con hidrolavadora en la actualidad, no es necesario incluir una capacitación en el uso de ésta, ya que los operadores conocen el funcionamiento del equipo. Lo anterior no se puede replicar en la limpieza criogénica del lavado de equipos, ya que implica una capacitación de los trabajadores, además de aumentar los niveles de seguridad y mantención que existe al interior de la planta.

La recirculación de agua de lavado de fruta y de lavado de tapas, implica la inclusión de una línea completa de tratamiento de agua, lo que aumenta el trabajo de los operarios, ya que implica una mantención adicional a la ya existente, además, para su implementación se requiere de más espacio disponible en las instalaciones de la planta, lo que podría significar una mayor inversión.

Si bien no se consideró en el análisis la etapa de lavado de botellas, dadas las condiciones de entrada y de salida del agua, se podría evaluar en un futuro la posibilidad de recircular los flujos de agua de esta etapa al igual que como se realizó con el lavado de frutas o con la etapa de enfriamiento.

Por último, es relevante destacar que actualmente toda el agua que se utiliza en la planta pasa al sistema de tratamiento de RILes, y luego es utilizada como regadío de los árboles frutales que tiene AFE en sus alrededores, mostrando así la importancia que tiene actualmente el cuidado y reutilización del agua en la empresa.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La finalidad del trabajo desarrollado es buscar estrategias que permitan minimizar los flujos de agua utilizados por la empresa de Jugos AFE. Para realizar esto se utilizó la metodología *Six Sigma*, que, mediante las etapas de definición, medición, análisis y mejoras y control, permite encontrar las causas de los problemas y atacarlos desde ese origen.

Las principales etapas de la producción de jugos son el lavado de frutas, el prensado de la misma para obtener el jugo, pasteurización del jugo para eliminar los microorganismos presentes, envasado del jugo en caliente y posterior enfriado de las botellas. Entre las etapas del proceso y las anexas a él, se identificaron ocho que utilizan agua en su operación, pero finalmente se evaluaron cinco de ellas: lavado de frutas, enfriamiento de botellas, lavado de tapas, lavado de equipos y lavado de pisos.

Para el lavado de frutas, que actualmente se realiza con una ducha de agua, se evaluó la recirculación de flujos de agua, obteniéndose un ahorro mensual de 246 [m^3] con una inversión de CLP \$21.000.000 correspondiente a bombas, estanques, filtro rotativo y equipo de ultrafiltración.

Para el enfriamiento de botellas, que se realiza mediante una ducha de agua a temperatura en un túnel, se evaluó la utilización de aire para el enfriado, que por el elevado flujo de aire requerido se consideró una alternativa infactible técnicamente, también se evaluó la utilización de agua enfriada para enfriar las botellas, provocando un ahorro de 122 [m^3/mes], con una inversión de \$6.300.000 que corresponde a un estanque, bombas y un equipo de enfriado de agua. Además, se evaluó la posibilidad de reutilizar el agua que sale de la etapa del enfriamiento, para lo que se considera un sistema de bombeo y estanques, que involucra una inversión de \$7.000.000 y provocaría un ahorro en el proceso de 320 [m^3/mes].

Para el caso del lavado de tapas, que se utiliza mediante una ducha de agua, se evaluaron las alternativas de limpieza con vapor y cambio de sistema de envasado. Estas alternativas generan un ahorro de 26 [m^3/mes] y 6 [m^3/mes] respectivamente con una inversión de \$1.100.000 y de \$17.500.000.

En el caso del lavado de equipos, que actualmente se realiza con una hidrolavadora y detergente, se propuso la limpieza criogénica o de hielo seco, la que tiene una inversión de \$32.000.000 y genera un ahorro de 22 [m^3/mes].

El lavado de pisos por su parte, actualmente se realiza con mangueras convencionales, por lo que se sugirió el uso de una hidrolavadora que provoca un ahorro de 26 [m^3/mes] con una inversión de \$1.600.000.

De acuerdo al ahorro de agua mensual que provocaría cada una de las alternativas, se tiene que las más atractivas son: la reutilización de agua, recirculación de agua y

enfriamiento previo del agua que enfría las botellas, que son las etapas que utilizan más agua en la actualidad.

Por otro lado, si se compara la inversión que debe realizarse, las alternativas más interesantes en términos económicos son la limpieza de vapor de agua, el uso de hidrolavadora y el enfriamiento con agua enfriada.

Por último, si se compara la inversión de las alternativas por metro cúbico de agua mensual ahorrado, se tiene que las que resultan más llamativas son enfriamiento con agua refrigerada, reutilización de agua de enfriamiento y recirculación de agua de lavado de fruta. Dado que dos de las alternativas corresponden a la misma etapa, y tomando en consideración que el ahorro de agua es mayor en la reutilización es finalmente esta la que se recomienda implementar a la empresa junto con la recirculación de agua de lavado de frutas y lavado de tapas.

Adicionalmente, la alternativa de uso de hidrolavadora para el lavado de pisos es la segunda más atractiva en términos de inversión por metro cúbico ahorrado, y representa una baja inversión, por lo que se recomienda implementar para disminuir los flujos de agua.

Dejando fuera los aspectos económicos, el cambio de sistema de envasado generaría ventajas en otros ámbitos, permitiría disminuir la mano de obra en la etapa de envasado y eliminaría definitivamente una fuente de consumo de agua, por lo que recomienda cambiar esta tecnología a pesar de que no contribuye en la disminución del agua al mismo nivel que otras alternativas aquí evaluadas.

De implementar estas cuatro alternativas: recirculación de agua de lavado de frutas y de lavado de tapas, reutilización de agua de enfriamiento, cambio de sistema de envasado y uso de hidrolavadora para el lavado de pisos, la inversión se estima en \$47.000.000 y permitiría un ahorro estimado de 614 [m^3/mes].

Para finalizar, como recomendación a la empresa, se sugiere implementar protocolos para todas las operaciones que son realizadas manualmente junto con una adecuada capacitación de los trabajadores de la empresa para que no existan flujos de agua en los tiempos muertos del proceso.

Junto con lo anterior, en un futuro se recomienda implementar sistemas de medición de flujos que permitan tener un control adecuado de sus consumos por etapa. Además, incorporar sensores en el proceso que permitan las detenciones automáticas de los equipos cuando no están en operación. Por último, la automatización de los procesos puede ayudar a disminuir el uso de agua asociadas a las operaciones realizadas de forma manual.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] ADLER, Franklin. 2014. El futuro del agua en Tucumán. Hesiodo. 892 p.
- [2] UNESCO. Capitulo I. La crisis mundial del agua. [en línea]. <http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/pdf/chap1_es.pdf> [consulta: 8 junio 2016].
- [3] SNV y HONDUPALMA. 2001. Uso eficiente de agua. AECID. 32 p.
- [4] NACIONES UNIDAS. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua y Energía [en línea]. 2014. <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>>
- [5] NACIONES UNIDAS. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [en línea]. <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>> [consulta: 4 diciembre 2015].
- [6] INSTITUTO ESPAÑOL DE ESTUDIOS ESTRATÉGICOS. El cambio climático. Situación actual y perspectiva económica del problema [en línea]. <<http://www.manosunidas.org/cambioclimatico/perspectiva-economica-cambioclimatico.pdf>> [consulta: 12 agosto 2015].
- [7] DEPARTAMENTO DE CAMBIO CLIMÁTICO DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2015. Plan nacional de adaptación al cambio climático. 80 p.
- [8] IPCC. Resumen para responsables de políticas [en línea]. 2013. <https://www.ipcc.ch/news_and_events/docs/ar5/ar5_wg1_headlines_es.pdf>
- [9] BATES, Bryson et al. 2008. El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC. 224 p. ISBN 9789291693238.
- [10] IPCC. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2014.
- [11] MEZA, Francisco Javier y CIFUENTES, Luis Abdón. Cambio climático : consecuencias y desafíos para Chile. Universidad Católica de Chile. Centro Interdisciplinario de Cambio Global (CICG-UC) [en línea]. <<<http://politicaspUBLICAS.uc.cl/wp-content/uploads/2015/02/cambio-climatico-consecuencias-y-desafios-para-chile.pdf>>> 2008 [consulta: 5 diciembre 2015].
- [12] GARREAUD, René. 2011. Cambio Climático : Bases Físicas e Impactos en Chile. Revista Tierra adentro - INIA. (93).
- [13] NACIONES UNIDAS. Efectos del Cambio Climático sobre la Vida de las personas. En: Manual de ciudadanía ambiental global. sin fecha, p. 16–20.
- [14] ONU. 2011. Agua e industria en la economía verde. Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio (UNW-DPAC). : 4.

- [15] ZARATE, Erika y KUIPER, Derk. Evaluación de Huella Hídrica del banana para pequeños productores en Perú y Ecuador. 2013.
- [16] CONSEJO NACIONAL DE PRODUCCIÓN LIMPIA. ¿Qué es la producción limpia? [en línea]. <<http://www.produccionlimpia.cl/>> [consulta: 10 octubre 2016].
- [17] VÁZQUEZ DEL MERCADO ARRIBAS, Rita y BUENFIL RODRÍGUEZ, Mario Óscar. 2012. Huella hídrica de américa latina: retos y oportunidades. Aqua-LAC. 4(1): 41–48.
- [18] COMISIÓN NACIONAL DE AGUA MÉXICO. El agua virtual y la huella hídrica [en línea]. <[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Infograf%C3%ADa Huella H%C3%ADrica.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Infograf%C3%ADa%20Huella%20H%C3%ADrica.pdf)> [consulta: 28 noviembre 2015].
- [19] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. 47 p.
- [20] ZAROR, Claudio. Principios de diseño de procesos limpios [en línea]. <<http://www.exiq.ucv.cl/files/Ppios-procesos-limpios.PDF>> [consulta: 17 octubre 2015].
- [21] ESCALANTE-POZOS, V y BANDALA, E.R. 2014. Calidad del agua y su relación con alimentos : aplicación de procesos Fenton y tipo Fenton en la eliminación de contaminantes en agua. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. 8(1): 34–47.
- [22] PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO. Norma Internacional. Organización Internacional de Normalización [en línea]. <<http://biblioteca.ucv.cl/site/servicios/documentos/iso690.html>> [consulta: 14 diciembre 2015].
- [23] ISO. Norma Internacional de normalización [en línea]. <http://www.iso.org/iso/fast_forward-es.pdf> [consulta: 14 diciembre 2015].
- [24] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. ¿Qué es la certificación ISO 14.001? [en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/007/ad818s/ad818s08.htm>> [consulta: 15 diciembre 2015].
- [25] THE BRITISH STANDARDS INSTITUTION. ISO 14046: Huella hídrica – Principios, requisitos y Guía [en línea]. <<http://www.bsigroup.com/es-ES/ISO-14046-Huella-hidrica--Principios-requisitos-y-Guia/>>> [consulta: 15 diciembre 2015].
- [26] CAVALA, Gabinete de Asesoría Empresarial. Norma ISO 14046: Primera norma mundial sobre la Huella de Agua. [en línea]. <<http://www.cavala.es/noticias/2014/06/huella-de-agua-norma-iso-14046/>> [consulta: 15 diciembre 2015].
- [27] JUGOS AFE. Agrícola Forestal El Escudo [en línea]. <<http://www.jugoafe.cl/jugos-y-familia/agricola-forestal-el-escudo/>> [consulta:

20 noviembre 2015].

- [28] JUGOS AFE. Misión y Visión [en línea]. <<http://www.jugoafe.cl/jugos-y-familia/mision-y-vision/>> [consulta: 10 diciembre 2015].
- [29] INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP. 1998. Técnicas de envasado y empaque. 62 p. ISBN 997247030x.
- [30] QUEZADA, Antonio. Memoria [en línea]. <yaquezada@jugoafe.cl> [consulta: 11 octubre 2016].
- [31] COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE - REGIÓN METROPOLITANA. 1998. Guía para el control y prevención de la contaminación industrial: Industria procesadora de frutas y hortalizas. 50 p.
- [32] CONSEBRO. ASOCIACIÓN DE INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS. Buenas prácticas en la gestión del agua en el sector agroalimentario [en línea]. <http://www.consebro.com/efacua/guias/Guia_BP.pdf> [consulta: 10 octubre 2015].
- [33] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Residuos [en línea]. <http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_Capitulo_3.pdf> [consulta: 6 junio 2016].
- [34] YEPES, Victor y PELLICER, Eugenio. Aplicación de la metodología seis sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción [en línea]. 2004. <<http://personales.upv.es/vyepesp/05YPX01.pdf>>
- [35] OCAMPO, Jared y PAVÓN, Aldo. 2012. Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim. En: LACCEI : Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology [en línea]. p. 23–27. ISBN 9788578110796. 10.1017/CBO9781107415324.004
- [36] ELECTRIC, General y SIGMA, Six. sin fecha. Metodología dmaic. b.n. 14-16 p.
- [37] BREYFOGLE, Forrest W. 2003. Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods [en línea]. 2º. Canadá. John Wiley & Sons. 1231 p. ISBN 0471265721. 10.2307/1271088
- [38] PÉREZ LÓPEZ, Esteban y MINOR, García Cerdas. 2014. Implementación de la metodología DMAIC- Seis Sigma en el envasado de licores en Fanal. Tecnología en Marcha. 27(3): 88–106.
- [39] LEGARIA MÉNDEZ, Gustavo y MESITA HERNÁNDEZ, Leonel. 2010. Análisis y propuesta de mejora al proceso de la dirección general de vida silvestre (DGVS) mediante la aplicación de la metodología DMAIC de six sigma. Universidad de México. 51 p.
- [40] CARRIZALES, José et al. Causa raíz del problema [en línea]. <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20526/Capitulo4.pdf>> [consulta: 10 junio 2016].
- [41] UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER. Guía para el análisis de

- causas y la formulación de acciones para el mejoramiento continuo [en línea]. <<https://ufpso.edu.co/ftp/pdf/guias/sig/K-SI-SIG-002BIII.pdf>> 2015 [consulta: 10 junio 2016].
- [42] CENGEL, Yunus A. y BOLES, Michael A. 2008. Termodinámica. 6° Edición. 1048 p. ISBN 978.970-10-7286-8.
- [43] HIMMELBLAU, David. 1997. Principios Básicos y Cálculos en Ingeniería Química. 6° Edición. 258 p. ISBN 0133057984.
- [44] RESNICK, Robert et al. 2001. Física. 4° edición. 609 p.
- [45] CRANE. 1996. Flujo en fluidos en válvulas, accesorios y tuberías [en línea]. Mc Graw Hi. 79 p. ISBN 9684228463. 10.1017/CBO9781107415324.004
- [46] MUÑOZ, R. 1979. Fluidodinámica. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 232-258 p.
- [47] MUNSON et al. 1999. Fundamentos de mecánica de fluidos [en línea]. 868 p. ISBN 9780470262849. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/mecanica_fluidos/mecanica_fluidos_2.pdf>
- [48] DÍAZ, Felipe. ¿Cómo estimar el diámetro del piping? (fase conceptual de un proyecto). En Taller de diseño de procesos. DIQBT, FCFM, Universidad de Chile. 2015
- [49] ZAPATA, Ignacio. Uso de Six Sigma. Reunión de memorista. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 29 de abril de 2016
- [50] JIMENEZ, Tatiana et al. Construcción de Diagrama de Ishikawa en . Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Reunión de memoristas
- [51] REPÚBLICA DE CHILE COMISIÓN DE EVALUACIÓN. Califica ambientalmente el proyecto: Planta de Jugos Concentrados. Resolución exenta 154. 2011
- [52] OCAMPO GONZÁLEZ, Olga Piedad. 2000. Elaboración y conservación de néctares a partir del lulo variedad “la selva”. Universidad Nacional de Colombia. 95 p.
- [53] MINISTERIO DE SALUD (REPÚBLICA DE CHILE). Reglamento Sanitario de los alimentos. 1996
- [54] KANE, Joseph et al. 1989. Física. Reverté. 824 p.
- [55] XYLEM. Recycling Earth’s rapidly shrinking resource [en línea]. <http://impeller.xylem.com/wp-content/uploads/2015/05/AWS_Water-Reuse-White-Paper-Single_FINAL.pdf> [consulta: 24 octubre 2016].
- [56] INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS. Informe anual 2014 - Medio ambiente [en línea]. 2015. 10.2775/51145
- [57] JET COLD. Limpieza criogénica [en línea]. <http://www.jetcold.cl/index.php?op=limpieza_criogenica&sub=carac_beneficio>

s&id_sub=1&cat=1> [consulta: 15 octubre 2016].

- [58] DRY ICE SYSTEM. Limpieza con hielo seco [en línea]. <http://www.disystems.de/downloads/DIS_sp.pdf> [consulta: 15 octubre 2016].
- [59] PERRY, Robert H. y GREEN, Don W. 2008. Perry's Chemical Engineers' Handbook [en línea]. 2400 p. ISBN 9788578110796. 10.1017/CBO9781107415324.004
- [60] GEDAR. Tamiz rotativo [en línea]. <<https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Roto-Tamices.pdf>> [consulta: 21 octubre 2016].
- [61] MINISTERIO DE HACIENDA. Valor FOB [en línea]. <<http://www.hacienda.cl/glosario/valor-fob.html>> [consulta: 12 octubre 2016].
- [62] PROBOSTE, Valeria. Estimación de costos (presentación) Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. En: Taller de proyectos. 2016
- [63] BANCO CENTRAL DE CHILE. Indicadores diarios [en línea]. <<http://si3.bcentral.cl/Indicadoresiete/secure/Indicadoresdiarios.aspx>> [consulta: 21 octubre 2016].
- [64] SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). Impuestos indirectos [en línea]. <http://www.sii.cl/aprenda_sobre_impuestos/impuestos/impuestos_indirectos.htm> [consulta: 3 octubre 2016].
- [65] ALIBABA. 2000LPH Direct Factory UF water purification system [en línea]. <https://www.alibaba.com/product-detail/2000LPH-Direct-Factory-UF-water-purification_60459182838.html?spm=a2700.7724838.o.o.rTGbwf> [consulta: 25 octubre 2016].
- [66] SERVICIO DE IMPUESTOS INTERNOS (SII). Dolar observado 2016 [en línea]. <<http://www.sii.cl/pagina/valores/dolar/dolar2016.htm>> [consulta: 12 octubre 2016].
- [67] LIENQUEO, María Elena. Diseño de biorreactores. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Diapositivas. 2014
- [68] CHILE REMATES. Estanque Acero Inoxidable Nuevo 5.000 Lts [en línea]. <<http://www.chileremates.cl/contenedores/estanques-acero-inoxidable/estanque-acero-inoxidable-nuevo-5000-lts.htm>> [consulta: 3 octubre 2016].
- [69] VILLODRES, Susana. Cotización Kupfer [#23544] [en línea]. <svillodres@kupfer.cl> [consulta: 3 octubre 2016].
- [70] TAPIA, Betsabet. Cotización de bombas [en línea]. <ventas@fullaguas.cl> [consulta: 4 octubre 2016].
- [71] Capitulo VII. Tabla de propiedades térmicas de los alimentos [en línea]. <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/1261/Capitulo7.pdf>> [consulta: 11 octubre 2016].

- [72] DIXON, John C. 2007. The Shock Absorber Handbook: Second Edition [en línea]. 2º edición. 445 p. ISBN 9780470510209. 10.1002/9780470516430
- [73] SKY CHILLERS. Calculo de capacidad de un enfriador CHILLER [en línea]. <<http://skychiller.com/seleccion-calculo-capacidad-chiller.php>> [consulta: 22 octubre 2016].
- [74] QUE CALOR. Chiller Scroll Enfriado Por Aire Skychillers De 36,000 Btu , Voltaje 220/1/60 [en línea]. <<http://www.quecalor.com/ficha.php?id=2015684&ds=Chiller Scroll Enfriado Por Aire Skychillers De 36,000 Btu , Voltaje 220/1/60>> [consulta: 22 octubre 2016].
- [75] SKY CHILLERS. Enfriadores de Agua Chillers de 1 a 5 Toneladas [en línea]. <<http://skychiller.com/chillers-1-a-5-toneladas.php>> [consulta: 22 octubre 2016].
- [76] QUE CALOR. Bomba De Vacio AVALY 2 Etapas 1.5 Cfm 1/4 HP 115/1/60 [en línea]. <<http://www.quecalor.com/ficha.php?id=80015&ds=Bomba De Vacio AVALY 2 Etapas 1.5 Cfm 1/4 HP 115/1/60>> [consulta: 22 octubre 2016].
- [77] AVALY. Bombas de vacío Avaly [en línea]. <<https://avalys.com/products/va-15-n/>> [consulta: 22 octubre 2016].
- [78] CHILE REMATES. Estanque Acero Inoxidable Nuevo 1.000 Lts [en línea]. <<http://www.chileremates.cl/contenedores/estanques-acero-inoxidable/estanque-acero-inoxidable-nuevo-1000-lts.htm>> [consulta: 24 octubre 2016].
- [79] KARCHER S.A. El agua caliente marca la diferencia [en línea]. <<https://www.kaercher.com/es/profesional/limpiadoras-de-alta-presion/ventajas-de-las-limpiadoras-de-alta-presion-de-agua-caliente.html>> [consulta: 16 octubre 2016].
- [80] SOIN. Limpiadora a vapor de doble caldera [en línea]. <<http://www.soin.cl/aseo-industrial/limpiadoras-a-vapor/limpiadoras-a-vapor-elsea/limpiadora-a-vapor-doble-caldera>> [consulta: 16 octubre 2016].
- [81] SHANGHAI PAIXIE PACKING MACHINERY CO, .LTD. Liquid filling machine [en línea]. 2016. <sales8@paixiepack.com>
- [82] COLD JET. Aero Series [en línea]. <http://www.jetcold.cl/docs/productos/1111033427_aero40-spec.pdf> [consulta: 14 octubre 2016].
- [83] COMPRESORES PRESSURE. Compresores de aire [en línea]. <<http://www.compresorespressure.cl/nuestros-productos.php?gclid=CLGypaa3-88CFVYIkQodiDgHOQ>> [consulta: 20 octubre 2016].
- [84] JET COLD. Limpieza criogénica [en línea]. <http://www.jetcold.cl/index.php?op=limpieza_criogenica&cat=1&sub=prod_colers&id_sub=4> [consulta: 20 octubre 2016].

- [85] CLEAN ICE. Hielo seco [en línea].
<http://www.cleanice.cl/pagina_hielo_seco.html> [consulta: 17 octubre 2016].
- [86] KARCHER S.A. Hidrolavadoras [en línea].
<<https://www.karcherstore.cl/hidrolavadoras-1>> [consulta: 10 octubre 2016].

8 ANEXOS

Anexo A Fotografías de lavado de fruta



Figura 27: Etapa de lavado de frutas con operadores cargando la fruta



Figura 28: Ducha de agua para lavado de frutas

Anexo B Recirculación de Lavado de frutas y Lavado de tapas

B.1. Flujos

B.1.1. Flujo de lavado de frutas

De acuerdo a la información proporcionada por la empresa, hay 36 boquillas ahorro de agua encargadas del lavado de fruta y cada una de ellas presenta un flujo de $0,16 \left[\frac{gal}{min} \right]$

Así, el flujo de entrada al lavado de frutas es

$$0,16 \left[\frac{gal}{min} \right] \cdot 36 = 5,76 \left[\frac{gal}{min} \right]$$

Dado que $1 [gal] = 3,79[l][59]$, el flujo es:

$$5,76 \left[\frac{gal}{min} \right] \cdot 3,79 \left[\frac{l}{gal} \right] = 21,8 \left[\frac{l}{min} \right] \approx 22 \left[\frac{l}{min} \right]$$

Por otro lado, la planta opera algunos días con un turno y otros días con doble turno, por lo que se aproximará a 12 horas diarias de operación, por lo que el flujo diario en el lavado de fruta es:

$$22 \left[\frac{l}{min} \right] \cdot 60 \left[\frac{min}{hora} \right] \cdot 12 \left[\frac{hora}{día} \right] = 15.840 \left[\frac{l}{día} \right] = 15,8 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Este valor difiere del presentado en la Tabla 4, lo que se atribuye a que la tabla presenta el consumo de agua asociado a la sala de lavado de frutas, lo que incluye lavado de pisos, lavado de bins y el lavado de la materia prima como tal.

B.1.2. Flujo de lavado de tapas

Dado que no existe información actual sobre el flujo de agua que se utiliza en la planta para el lavado de las tapas, se realizará una aproximación de este en función del flujo que tienen las boquillas del sistema de lavado de frutas. Cada una de estas boquillas posee un flujo de $0,16 \left[\frac{gal}{min} \right]$, y en la etapa de lavado de fruta se utilizan 36 boquillas. Para poder calcular el flujo del lavado de tapas se tomará como supuesto que equivale al consumo de agua de 4 boquillas.

Considerando la conversión de $1 [gal] = 3,79 [l][59]$, el flujo del lavado de tapas se calcula como sigue:

$$F_{tapas} = 0,16 \left[\frac{gal}{min} \right] \cdot 3,79 \left[\frac{l}{gal} \right] \cdot 4 = 1,82 \left[\frac{l}{min} \right]$$

Asumiendo que la etapa de lavado de tapas opera 12 horas al día, se tiene que el flujo diario de agua para el lavado de tapas es:

$$F_{tapas} = 1,82 \left[\frac{l}{min} \right] \cdot 60 \left[\frac{min}{h} \right] \cdot 12 \left[\frac{h}{día} \right] = 1.310 \left[\frac{l}{día} \right] \approx 1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

B.1.3. Flujo global

Para calcular el flujo global que se puede recircular de estas dos etapas se suma el flujo de agua de lavado de frutas y el de lavado de tapas. De esta forma se tiene un flujo global de:

$$F_{global} = F_{tapas} + F_{frutas} = 1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right] + 15,8 \left[\frac{m^3}{día} \right] = 17,1 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Considerando que un 10% de este flujo se pierde en el proceso, y que por lo tanto no es posible recircularlo, se tiene:

$$Flujo_{global} = 17,1 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot 0,9 = 15,4 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Tomando en cuenta que la planta opera en promedio 12 horas al días, el flujo volumétrico es finalmente:

$$Flujo_{global} = 15,4 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot \frac{1}{12} \left[\frac{día}{h} \right] = 1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

B.2. Tratamiento

B.2.1. Tamiz rotativo

Para el primer tratamiento al agua con residuos de fruta, se realizó una cotización de un filtro rotativo en la empresa española GEDAR (Gestión de aguas y residuos). De esta forma, se encontró el tamiz rotativo GTR 270/250[60] (Figura 29), cuyas características técnicas se presentan en la Tabla 17.



Figura 29: Tamiz rotativo GTR 270/250[60]

Tabla 17: Aspectos técnicos de tamiz rotativo GTR 270/250[60]

Características técnicas	
Luz de paso de malla	0,15 [mm]
Caudal de agua	5[m ³ /h]
Material	Acero inoxidable AISI 304
Diámetro del cilindro	270 [mm]
Longitud del cilindro	250 [mm]
Potencia del motor	0,25 [kW]
Ancho total	520 [mm]
Fondo total	670 [mm]
Altura total	470 [mm]

El tamiz rotativo tiene un valor de € 5.151 sin I.V.A. Considerando que este es el precio que tiene el equipo antes de salir de su destino[61], se considerará un 20% adicional por conceptos de transporte[62].

$$Precio = € 5.151 \cdot 1,2 = € 6.181$$

Además dado que el valor del euro es \$729[63], se calcula el precio final del equipo de llenado de botellas:

$$Precio = € 6.181 \cdot \frac{\$}{€} 729 \approx \$4.500.000$$

Dado que el precio calculado, no incluye el I.V.A, se le adiciona el valor de este impuesto que corresponde a un 19%[64].

$$Precio = 1,19 \cdot \$4.500.000 = \$5.400.000$$

B.2.2. Ultrafiltración

Para el segundo tratamiento de agua, se escogió un equipo de ultrafiltración que permite eliminar un 98% de la materia orgánica presente en el agua. El equipo escogido se muestra en la Figura 30 y sus características técnicas se presentan en la Tabla 18. El equipo tiene un valor de US 2.500 FOB[65], esto quiero decir que es el valor que tiene el equipo antes de salir de su destino[61], así, se considerará un 20% adicional por conceptos de transporte[62].

$$Precio = USD 2.500 \cdot 1,2 = USD 3.000$$

Además dado que el valor del dólar es \$667[66], se calcula el precio final del equipo de llenado de botellas:

$$Precio = USD 3.000 \cdot \frac{\$}{USD} 667 \approx \$2.000.000$$

Dado que el precio calculado, no incluye el I.V.A, se le adiciona el valor de este impuesto que corresponde a un 19%[64].

$$Precio = 1,19 \cdot \$2.000.000 = \$2.500.000$$



Figura 30: Equipo de ultrafiltración Modelo CX-UF2000[65]

Tabla 18: Aspectos técnicos de equipo de ultrafiltración Modelo CX-UF2000[65]

Características técnicas	
Material	Acero inoxidable 304
Modelo	CX-UF200
Capacidad de esterilización	2000 [l/h]
Lámpara esterilizadora	400 [W]
Presión de trabajo	0,05-0,2 [MPa]
Potencia	2,2 [kW]
Rango de pH	2-12
Rango de temperatura	10-45°C
Peso	210 [kg]
Dimensiones	2.000 x 3.000 x 800[mm]

B.3. Estanque

B.3.1. Determinación del volumen del estanque

Dado el flujo que se tiene y asumiendo que el agua no tendrá un tiempo de residencia mayor a 3 horas en el estanque, se calcula el volumen del estanque según la ecuación (16):

$$V_m = Flujo \cdot \tau \quad (16)$$

$$V_m = 1,3 \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot 3[h] \approx 4 [m^3]$$

Si se le agrega un 25% como factor de seguridad para dimensionar el estanque, se tiene:

$$V'_m = 1,25 \cdot V_m = 1,25 \cdot 4[m^3] = 5[m^3]$$

Si se considera un estanque cilíndrico, el volumen se calcula según la ecuación (17)

$$V_m = \pi \cdot r^2 \cdot H \quad (17)$$

Y dado que $2 \cdot r = D$

$$V_m = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4}$$

Si se asume la relación $D = H$ [67]

$$V_m = \frac{\pi \cdot D^3}{4}$$

Así, se calcula el diámetro del estanque

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_m}{\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 5[m^3]}{\pi}} = 1,85 [m]$$

B.3.2. Elección del estanque

De acuerdo a lo disponible en el mercado, no fue posible encontrar un equipo que cumpliera la condición $D = H$, pero existe disponible uno que cumple con los requerimientos de volumen necesarios.

Dado que el agua será utilizada en el proceso de fabricación de jugo, de acuerdo al reglamento sanitario de los alimentos,[53] el equipo debe ser de acero inoxidable.

De esta forma se toma como referencia el equipo mostrado en la Figura 31, que tiene una capacidad de 5.000[l] y tiene un precio de \$5.100.000 + I.V.A. (Impuesto al Valor Agregado)[68]. Dado que el IVA corresponde a un 19%[64], el valor real del estanque es de \$6.070.000.

Para realizar la recirculación de flujos, se requieren dos estanques, el primero para juntar el agua del lavado de fruta y el de lavado de tapas, y el segundo para adicionar cloro antes de volver a utilizarlo para la desinfección. Así, el valor total de los estanques es de \$12.140.000.



Figura 31: Estanque de acero inoxidable de 5.000 [l][68]

Los detalles del material y las dimensiones del estanque se presentan en la Tabla 19 y en la Figura 32 y Figura 33 se presenta un diagrama de la sección longitudinal y transversal del estanque.

Tabla 19: Especificaciones del estanque de acero inoxidable

Características técnicas	
Material:	SS304
Dimensiones:	1.600 x 2.5000 [mm]
Altura total:	3.750 [mm]
Espesor Pared:	2,5 [mm]
Espesor Fondo:	2,5 [mm]
Patas:	4
Peso Neto:	1.040 [kg]

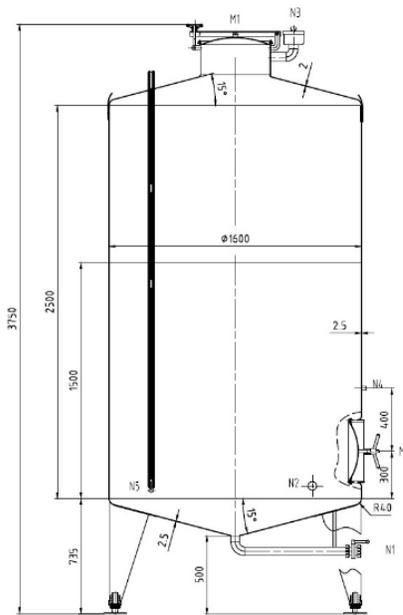


Figura 32: Diagrama de la sección longitudinal de estanque de 5.000 [l][68]

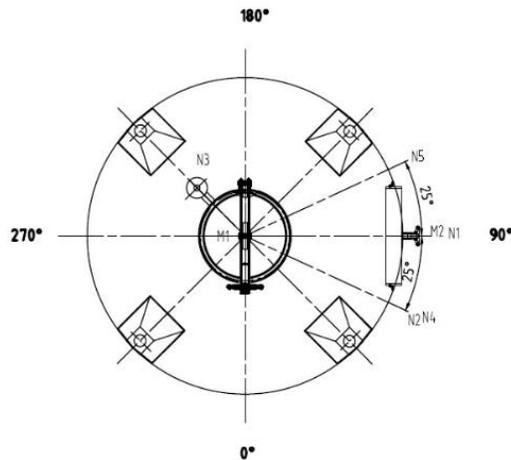


Figura 33: Diagrama de la sección transversal de estanque de 5.000 [l][68]

B.4. Piping y Bombas

B.4.1. Cálculo de diámetro de tuberías

Para calcular el diámetro de las cañerías, se utilizará la heurística de la sección 2.1.4 que en base a una velocidad del fluido y su flujo calcula el diámetro de la tubería.

Así, se escoge una velocidad del flujo $0,7 [m/s]$ y el flujo volumétrico es de $1,3 [m^3/h]$.

De esta forma, el área de la sección transversal de la cañería se calcula según la ecuación (18):

$$Area_{cañería} = \frac{flujo}{velocidad} \quad (18)$$

Así, el área de la sección transversal es:

$$Area_{cañería} = \frac{1,3 \left[\frac{m^3}{h} \right] \cdot \frac{1}{3600} \left[\frac{h}{s} \right]}{0,7 \left[\frac{m}{s} \right]} = 5,2 \cdot 10^{-4} [m^2]$$

Por otro lado, de acuerdo a la geometría de la sección transversal de la tubería se calcula según la ecuación (19).

$$Area_{cañería} = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (19)$$

De esta forma el diámetro es igual a:

$$D = \sqrt{\frac{Area_{cañería} \cdot 4}{\pi}}$$
$$D = \sqrt{\frac{5,2 \cdot 10^{-4} [m^2] \cdot 4}{\pi}} = 2,6 \cdot 10^{-2} [m] = 2,6 [cm] \approx 1''$$

B.4.2. Cálculo de bomba

Para escoger que bomba se utilizará, en base a lo expuesto en la sección 2.1.3, primero es necesario saber si el fluido opera en régimen laminar o turbulento, para esto primero se calcula el Reynolds de acuerdo a la ecuación (10).

$$Re = \frac{\rho \cdot V_s \cdot D}{\mu} \quad (10)$$

La densidad del agua (ρ) es $1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ y la viscosidad (μ) es $10^{-3} [Pa \cdot s]$ [59].

Así, el Reynolds es:

$$Re = \frac{1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,7 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} [m]}{10^{-3} [Pa \cdot s]} = 18.200$$

Dado que este valor es menor que 20.000, se define que el fluido opera en régimen laminar.

De esta forma se puede calcular el coeficiente de Darcy según la ecuación (11) :

$$f = \frac{64}{Re} \tag{11}$$

$$f = \frac{64}{18.200} = 3,5 \cdot 10^{-3}$$

Así, utilizando la ecuación (15), considerando que las condiciones de presión y velocidad no cambian entre la condición inicial y final, además, dado que es una etapa de ingeniería conceptual no se tiene certeza de las singularidades que tendrán las tuberías, no se considerará en el análisis. Por otro lado, se considerará que la diferencia de altura será de 5 [m]. Por último, se estimará el largo de las tuberías en 50 [m]. De esta forma la altura de elevación de la bomba es igual a:

$$H_e = h_2 - h_1 + f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} = 5[m] + 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{50[m]}{2,6 \cdot 10^{-2}[m]} \cdot \frac{(0,5 \left[\frac{m}{s} \right])^2}{2 \cdot 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right]} = 5,1$$

B.4.3. Elección de Cañerías

Las tuberías que se necesitan son de acero inoxidable de acuerdo al reglamento sanitario de los alimentos[53], y como se calculó antes, el diámetro de estas debe ser de 1". Así, de acuerdo a una cotización realizada en *küpfner*, se tiene que una cañería con costura, de acero inoxidable de 1" SCH 40, tiene un valor de \$42.144 + I.V.A. por cada 6[m][69].

De acuerdo a la estimación realizada, se requieren 50 [m] de cañería, por lo que para calcular el valor total se considerarán 54 [m], es decir, 9 lotes de 6 [m], lo que en precio equivale a \$42.144 multiplicado por 9 veces, es decir \$379.296. Dado que el I.V.A es de 19%[64] el valor total es de \$450.000.

B.4.4. Elección de Bombas

El flujo de agua es de 1,3 [m³/h], y la altura de elevación de la bomba es de 5,1. Si bien estos parámetros no se encontraron con los proveedores consultados, por lo que se priorizó que la bomba cumpliera con los requerimientos de flujo necesarios. Así, se escogió como referencia una bomba marca *Pentax*, modelo CM 50, que se muestra en la Figura 34, cuyo precio es de \$149.600 + I.V.A.[70]. Dado que el I.V.A. es de 19%[64], el valor final de la bomba es de \$180.000.

Para realizar la recirculación, se utilizarán cuatro bombas, dos de succión y dos de descarga para enviar el agua al estanque y una para utilizar el agua que está en el estanque. Así, considerando 4 bombas, el precio total de las bombas es de \$720.000.



Figura 34: Bomba CM 50[70]

En la Tabla 20 se presentan las especificaciones técnicas de la bomba CM 50, en la Figura 35 se muestra un diagrama de la bomba con las dimensiones de cada uno de los tramos de la bomba que se detallan en la Tabla 21[70].

Tabla 20: Especificaciones de bomba CM 50[70]

Especificaciones técnicas	
Peso	9 [kg]
Dimensiones	290 [mm] x 175 [mm] x 225 [mm]
Potencia	0,5 [hp]
Voltaje	220 [V]
Temperatura máxima	50°C
Conexión	1" succión y descarga

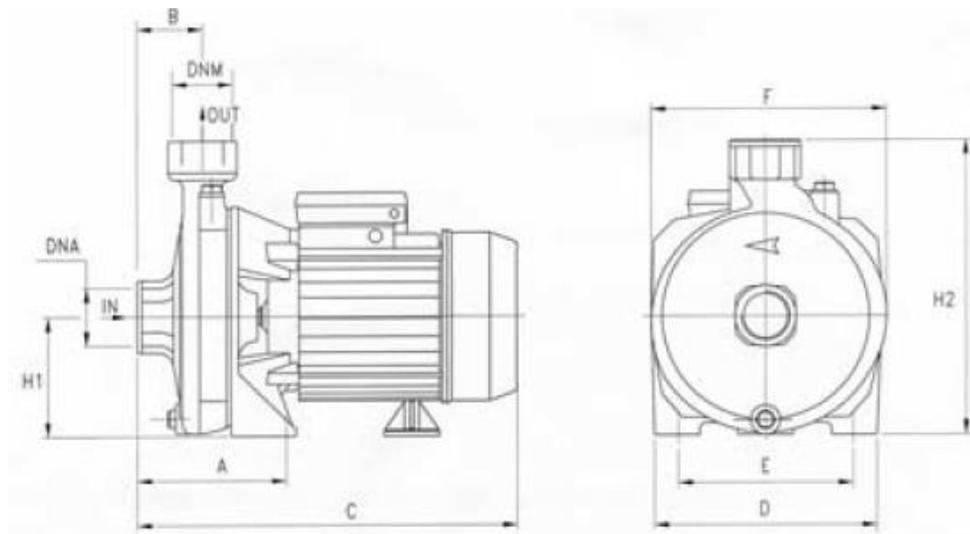


Figura 35: Diagrama transversal y longitudinal de bomba CM 50[70]

Tabla 21: Dimensiones de bomba CM50[70]

Dimensiones [mm]	
A	95
B	45,5
C	265
D	150
E	110
F	160
H1	82
H2	202
DNA	1" G
DNM	1" G

B.5. Inversión total

Dado los equipos necesarios para realizar la recirculación de agua de lavado de frutas y lavado de tapas, se calcula la inversión completa que comprende un tamiz rotativo, un equipo de ultrafiltración, dos estanques, dos bombas y piping, se tiene:

$$\begin{aligned}
 \text{Inversión} &= \text{Precio}_{\text{Tamiz}} + \text{Precio}_{\text{Ultrafiltración}} + \text{Precio}_{\text{estanque}} + \text{Precio}_{\text{bombas}} \\
 &\quad + \text{Precio}_{\text{piping}} \\
 &= \$5.400.000 + \$2.500.000 + \$12.140.000 + \$720.000 + \$450.000 \\
 &\approx \$21.000.000
 \end{aligned}$$

B.6. Ahorro de agua

El flujo actual utilizado para ambas etapas (Lavado de frutas y lavado de tapas) es de $17,1 [m^3/día]$, y el flujo a recircular es $15,4 [m^3/día]$. De esta forma, el ahorro diario corresponde al flujo a recircular diario.

Considerando que una vez a la semana se realiza un recambio completo del agua, es decir, ingresa únicamente agua fresca, se tiene un ahorro semanal de:

$$Ahorro\ semanal = 15,4 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot 4 \left[\frac{días}{semana} \right] = 61,6 \left[\frac{m^3}{semana} \right]$$

Por otro lado, como un mes tiene 4 semanas, se tiene que el ahorro mensual es:

$$Ahorro\ mensual = 61,6 \left[\frac{m^3}{semana} \right] \cdot 4 \left[\frac{semanas}{mes} \right] = 246 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

Dado que el flujo diario es $17,1 [m^3/día]$, y considerando que se opera 20 $[días/mes]$, el flujo utilizado en el mes actualmente es:

$$Flujo\ mensual\ actual = 17,1 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot 20 \left[\frac{días}{mes} \right] = 342 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

De esta forma, dado el ahorro mensual, se calcula el porcentaje de ahorro correspondiente:

$$\%ahorro = \frac{246 \left[\frac{m^3}{mes} \right]}{342 \left[\frac{m^3}{mes} \right]} \cdot 100 = 72\%$$

Anexo C Enfriamiento

C.1. Cálculo de flujo de calor

Para calcular el calor necesario para enfriar el jugo, se debe utilizar la ecuación (6), en este sentido primero es necesario conocer la masa del jugo. Según la Tabla 1, la mayor producción de jugo es el de manzana, por lo que se tomará este jugo como referencia para los cálculos que siguen. Así, se midió la masa del jugo con botella y de la botella vacía para calcular la masa del jugo de manzana, para esto se utilizó una balanza de laboratorio. Los resultados se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22: Cálculo de masa de jugo AFE

Parámetro	Masa [kg]
Jugo + botella	1,531
Botella	0,488
Jugo	1,043

Además, de acuerdo a los datos recopilados en la planta, se tiene que diariamente se producen 6.000 botellas de un litro, y en el proceso de pasteurización se debe bajar la temperatura del jugo de 90°C a 40°C, por otro lado, el cp del jugo de manzana es 3,85 [kJ/kg°C][71]. Así, utilizando la ecuación (6) el calor necesario para enfriar el jugo es:

$$\begin{aligned} Q &= m_{\text{jugo}} \cdot c_{p \text{ jugo}} (T_{i \text{ jugo}} - T_{f \text{ jugo}}) \\ &= 6000 \left[\frac{\text{botellas}}{\text{día}} \right] \cdot 1,043 \left[\frac{\text{kg}}{\text{botella}} \right] \cdot 3,85 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right] \cdot (90^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) \\ &= 1.204.665 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{día}} \right] \end{aligned}$$

C.2. Enfriamiento con aire

C.2.1. Cálculo de flujo de aire

Para calcular el flujo de aire requerido para lograr enfriar las botellas de jugo, se considera que el calor cedido por las botellas es el mismo que el calor absorbido por el aire. De esta forma, utilizando nuevamente la ecuación (6), considerando que el c_p del aire es 1,007 [kJ/(kg°C)][42], que la temperatura inicial del aire corresponde al promedio anual de la zona (13,6°C)[56] y que la temperatura final es 30°C igual a la que tiene el agua a la salida de la etapa utilizada en la actualidad, se tiene:

$$Q_{abs} = m_{aire} \cdot c_{p_{aire}} (T_{f_{aire}} - T_{i_{aire}}) \Rightarrow m_{aire} = \frac{Q_{abs}}{c_{p_{aire}} \cdot (T_{f_{aire}} - T_{i_{aire}})}$$

$$= \frac{1.204.665 \left[\frac{kJ}{día} \right]}{1,007 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right] \cdot (30^{\circ}C - 13,6^{\circ}C)} = 72.945 \left[\frac{kg}{día} \right]$$

Por otro lado, para calcular el flujo volumétrico de aire que se requiere, se tiene que la densidad del aire a 20°C es 1,2 [kg/m³][42], así, el flujo volumétrico es:

$$F_{aire} = \frac{m_{aire}}{\rho_{aire}} = \frac{72.945 \left[\frac{kg}{día} \right]}{1,2 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 60.788 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Así, si se consideran 12 horas de trabajo por día, el flujo volumétrico es:

$$F_{aire} = \frac{60.788 \left[\frac{m^3}{día} \right]}{12 \left[\frac{h}{día} \right] \cdot 60 \left[\frac{min}{h} \right]} = 84,4 \left[\frac{m^3}{min} \right]$$

C.3. Enfriamiento con agua refrigerada

C.3.1. Cálculo de flujo de agua refrigerada

Para calcular el flujo de agua refrigerada que se necesita para lograr enfriar las botellas de jugo, se considera que el calor cedido por las botellas es el mismo que el calor absorbido por el agua refrigerada. Por medio de la ecuación (6), considerando que el c_p del agua es 4,186[kJ/kg°C][72], que se enfría el agua hasta una temperatura de 5°C y que llega a 30°C igual que el agua de salida del proceso actual, se tiene:

$$Q_{abs} = m_{agua} \cdot c_{p_{agua}} (T_{f_{agua}} - T_{i_{agua}}) \Rightarrow m_{agua} = \frac{Q_{abs}}{c_{p_{agua}} \cdot (T_{f_{agua}} - T_{i_{agua}})}$$

$$= \frac{1.204.665 \left[\frac{kJ}{día} \right]}{4,186 \left[\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right] \cdot (30^{\circ}C - 5^{\circ}C)} = 11.511 \left[\frac{kg}{día} \right]$$

Por otro lado, para calcular el flujo volumétrico de agua refrigerada que se requiere, se tiene que la densidad del agua a 15°C es 999,1 [kg/m³][72], así, el flujo volumétrico es:

$$F_{agua} = \frac{m_{agua}}{\rho_{agua}} = \frac{11.511 \left[\frac{kg}{día} \right]}{999,1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 11,52 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Así, si se consideran 12 horas de trabajo por día, el flujo volumétrico es:

$$F_{agua} = \frac{11,52 \left[\frac{m^3}{día} \right]}{12 \left[\frac{h}{día} \right] \cdot 60 \left[\frac{min}{h} \right]} = 0,016 \left[\frac{m^3}{min} \right]$$

C.3.2. Flujo de agua actual

Para calcular el flujo de agua que se utiliza en la actualidad por la empresa AFE, al igual que en el cálculo de flujo para el agua enfriada, se considera que el calor cedido por las botellas es el mismo que el calor absorbido por el agua refrigerada. Por medio de la ecuación (6), considerando que el c_p del agua es $4,186 [kJ/kg^\circ C]$ [72], que el agua ingresa a una temperatura de $13,6^\circ C$ y que llega a $30^\circ C$, se tiene:

$$Q_{abs} = m_{agua} \cdot c_{p_{agua}} (T_{f_{agua}} - T_{i_{agua}}) \Rightarrow m_{agua} = \frac{Q_{abs}}{c_{p_{agua}} \cdot (T_{f_{agua}} - T_{i_{agua}})}$$

$$= \frac{1.204.665 \left[\frac{kJ}{día} \right]}{4,186 \left[\frac{kJ}{kg^\circ C} \right] \cdot (30^\circ C - 13,6^\circ C)} = 17.548 \left[\frac{kg}{día} \right]$$

Por otro lado, para calcular el flujo volumétrico de agua refrigerada que se requiere, se tiene que la densidad del agua a $15^\circ C$ es $999,1 [kg/m^3]$ [72], así, el flujo volumétrico es:

$$F_{agua} = \frac{m_{agua}}{\rho_{agua}} = \frac{17.548 \left[\frac{kg}{día} \right]}{999,1 \left[\frac{kg}{m^3} \right]} = 17,6 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

C.3.3. Ahorro de agua

Dado que se tiene el flujo de agua utilizado actualmente, y el flujo de agua que se utilizaría con agua enfriada, se calcula el ahorro de agua diario que se tendría con esta alternativa

$$Ahorro\ de\ agua = 17,6 \left[\frac{m^3}{día} \right] - 11,5 \left[\frac{m^3}{día} \right] = 6,1 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Por otro lado, dado que AFE opera de lunes a viernes, se considera que el mes productivo tiene 20 días, de esta forma, se calcula el ahorro mensual de agua que se tendría con esta alternativa.

$$Ahorro\ mensual = 20 \left[\frac{días}{mes} \right] \cdot 6,1 \left[\frac{m^3}{día} \right] = 122 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

Dado el flujo actual, y el flujo propuesto, se calcula el porcentaje de ahorro de la alternativa:

$$\%Ahorro = \frac{6,1 \left[\frac{m^3}{día} \right]}{17,6 \left[\frac{m^3}{día} \right]} \cdot 100 = 35\%$$

C.3.4. Equipo de enfriamiento de agua

Para determinar cuál es el equipo necesario para enfriar el agua primero se necesita la capacidad que debe tener el equipo, de esta forma, el proveedor “*Sky Chillers*” [73] determina la capacidad en base al flujo y las temperaturas requeridas por el fluido a enfriar. De esta forma, se obtuvo que la capacidad del equipo es de 2,85 [ton] de refrigeración.

De esta forma, se realizó una cotización de un equipo de enfriamiento de 3 [ton] de refrigeración modelo SKCLA036A06[74] que se muestra en la Figura 36, las características técnicas del equipo se muestran en la Tabla 23.

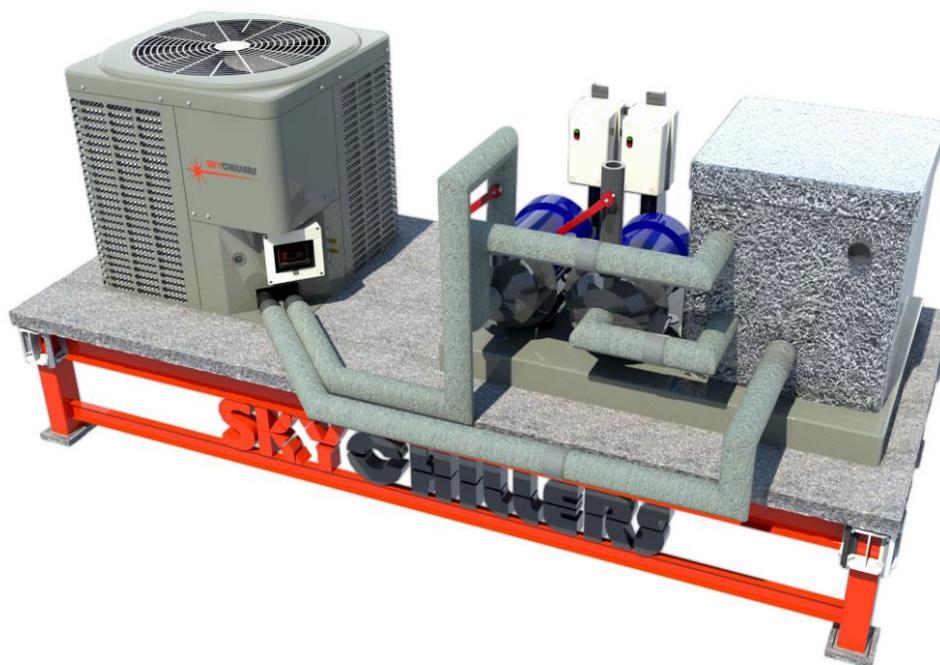


Figura 36: Chiller modelo SKCLA036A06[75]

Tabla 23: Aspectos técnicos de Chiller modelo SKCLA036A06[75]

Características técnicas	
Dimensiones	65 x 72 x 72 [cm]
Peso	71 [kg]
Voltaje	220 [V]
Refrigerante	R410a
Compresor	Scroll tipo Hermético protegido contra alta temperatura y presión

El equipo tiene un precio de USD 3.501 + I.V.A.[74] Considerando que este es el precio que tiene el equipo antes de salir de su destino[61], se considerará un 20% adicional por conceptos de transporte[62].

$$\text{Precio} = \text{USD } 3.501 \cdot 1,2 = \text{USD } 4.201$$

Además dado que el valor del dólar es \$667[66], se calcula el precio final del equipo de enfriamiento de agua:

$$\text{Precio} = \text{USD } 4.201 \cdot \frac{\$}{\text{USD}} 667 \approx \$2.800.000$$

Dado que el precio calculado, no incluye el I.V.A, se le adiciona el valor de este impuesto que corresponde a un 19%[64].

$$\text{Precio} = 1,19 \cdot \$2.800.000 = \$3.300.000$$

Adicionalmente, se requiere una bomba de succión y una de descarga que no están incluidos en el equipo de enfriamiento. Según las condiciones de flujo, se realizó una cotización de una bomba de ¼ [HP] modelo Avaly VA-15 N (Figura 37), que tiene un valor de USD 252,42 + I.V.A[76].

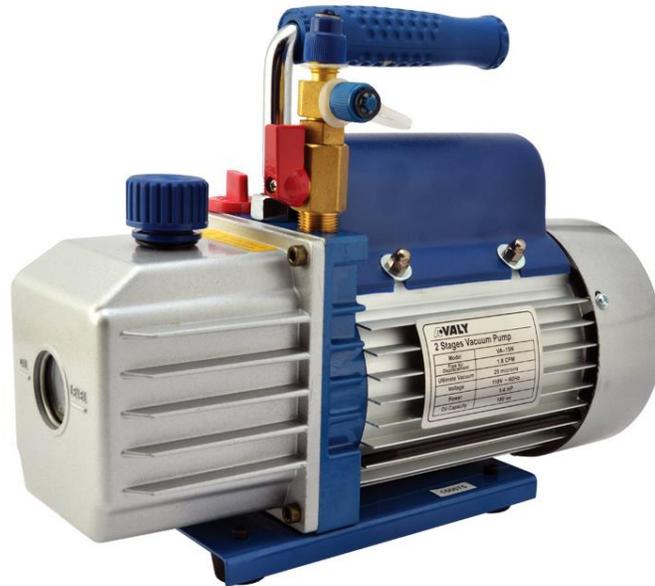


Figura 37: Bomba avaly VA-15 N[77]

Considerando que este es el precio que tiene el equipo antes de salir de su destino[61], se considerará un 20% adicional por conceptos de transporte[62]. Además, como se requieren dos bombas, se calculará el precio por las dos:

$$Precio = 2 \cdot USD\ 252,42 \cdot 1,2 = USD\ 606$$

Además dado que el valor del dólar es \$667[66], se calcula el precio final del equipo de enfriamiento de agua:

$$Precio = USD\ 606 \cdot \frac{\$}{USD} 667 \approx \$404.000$$

Dado que el precio calculado, no incluye el I.V.A, se le adiciona el valor de este impuesto que corresponde a un 19%[64].

$$Precio = 1,19 \cdot \$404.000 = \$480.000$$

C.3.5. Determinación del estanque

Dado el flujo que se tiene y asumiendo que el agua no tendrá un tiempo de residencia mayor a 1 horas en el estanque, se calcula el volumen del estanque según la ecuación (16):

$$V_m = Flujo \cdot \tau \tag{20}$$

$$V_m = 0,016 \left[\frac{m^3}{min} \right] \cdot 60[min] \cdot \approx 1 [m^3]$$

Se cotizó un estanque de acero inoxidable, para cumplir con el reglamento sanitario de los alimentos[53], de 1000 [l](Figura 38), cuyas características técnicas se muestran en la Tabla 24[78]. El precio del estanque es de \$2.100.000 + I.V.A. Dado que el IVA corresponde a un 19%[64], el valor real del estanque es de \$2.500.000



Figura 38: Estanque de acero inoxidable de 1.000 [l][78]

Tabla 24: Características técnicas de estanque de acero inoxidable de 1000 [l][78]

Características técnicas	
Material	SS304
Dimensiones	1.000 x 1.220 [mm]
Altura total	2.150 [mm]
Espesor Pared	2 [mm]
Espesor Fondo	2,5 [mm]
Patas	3
Peso Neto	300 [kg]

De esta forma, la inversión total de la etapa de enfriamiento es de:

$$Inversión_{enfriamiento} = \$3.300.000 + \$480.000 + \$2.500.000 \approx \$6.300.000$$

Anexo D Reutilización de agua de la etapa de enfriamiento

D.1. Flujos

De acuerdo a la Tabla 4, asumiendo el flujo promedio que se presenta de la etapa de enfriamiento $17,5 \left[\frac{m^3}{día} \right]$, y considerando que un 10% de esa agua se pierde en el proceso, o tiene otras finalidades, y que por lo tanto no es posible recircularla.

Así, el flujo diario sería de

$$17,5 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot 0,9 \approx 16 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

La planta opera algunos días con un turno y otros días con doble turno, por lo que se aproximará a 12 horas diarias de operación, por lo que el flujo de salida de enfriamiento es:

$$16 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot \frac{1}{12} \cdot \left[\frac{día}{hora} \right] = 1,3 \left[\frac{m^3}{hora} \right]$$

De esta forma, esta sería el agua utilizada para ser reutilizada.

D.2. Estanque

Dado que el flujo es el mismo que en la etapa de recirculación de agua de lavado de frutas y lavado de tapas, se considerará el mismo estanque para almacenar el agua recirculada. De esta forma, se tiene un costo de \$6.070.000

D.3. Piping y bombas

Dado que esta etapa tiene el mismo flujo que la recirculación de agua de lavado de frutas y de lavado de tapas, se considerará el mismo sistema de piping y bombas. Para ver las especificaciones de estos, dirigirse al anexo B.4

Para realizar la recirculación, se utilizarán dos bombas, una de succión y una de descarga para enviar el agua al estanque y una para utilizar el agua que está en el estanque. Así, considerando 2 bombas, el precio total de las bombas es de \$360.000.

D.4. Inversión total

Dado los equipos necesarios para realizar la reutilización de las aguas de la etapa de enfriamiento, se calcula la inversión completa que comprende un estanque, bombas y piping, se tiene:

$$\begin{aligned} Inversión &= Precio_{estanque} + Precio_{bombas} + Precio_{piping} \\ &= \$6.070.000 + \$360.000 + \$450.000 \approx \$7.000.000 \end{aligned}$$

D.5. Ahorro de agua

De acuerdo a lo planteado al principio, el flujo de agua que es posible recircular son $16 [m^3/día]$, y esto es exactamente el ahorro de agua que implica la alternativa. Sin embargo, este ahorro no sería para la etapa de enfriamiento si no que sería para el proceso general de AFE.

De esta forma, considerando que AFE opera de lunes a viernes, lo que corresponde a 20 [días/mes], se tiene que el ahorro de agua mensual de la alternativa es:

$$Ahorro_{mensual} = 16 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot 20 \left[\frac{días}{mes} \right] = 320 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

Anexo E Lavado de tapas

E.1. Flujo actual

El flujo actual se encuentra en el anexo de recirculación de flujos de lavado de frutas y lavado de tapas (Ver Anexo B.1.2).

E.2. Uso de vapor de agua

E.2.1. Flujo de vapor utilizado

Los equipos de limpieza a vapor o con agua caliente, presentan una ventaja de acuerdo a su temperatura de acción, de esta forma permiten reducir hasta un 35%[79] los tiempos de limpieza con respecto a la limpieza con agua fría.

En base a lo anterior, se considera que el flujo de vapor utilizado para la limpieza de las botellas es un 25% menor que el requerido en la actualidad. De esta forma el flujo de agua utilizado para la limpieza de vapor es:

$$Flujo_{vapor} = Flujo_{tapas} \cdot 0,75 = 1,82 \left[\frac{l}{min} \right] \cdot 0,75 = 1,37 \left[\frac{l}{min} \right]$$

Asumiendo que la etapa de lavado de tapas opera 12 horas al día, se tiene que el flujo diario de agua para el lavado de tapas mediante vapor es:

$$Flujo_{vapor} = 1,37 \left[\frac{l}{min} \right] \cdot 12 \left[\frac{h}{día} \right] \cdot 60 \left[\frac{min}{h} \right] = 986 \left[\frac{l}{día} \right] \approx 1 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

E.2.2. Equipo de limpieza a vapor

Para considerar el costo de inversión de esta alternativa, se tomó como referencia un equipo de limpieza a vapor de doble caldera (Figura 39), las especificaciones técnicas del equipo se muestran en la Tabla 25. De acuerdo a la cotización realizada, el precio del equipo es de \$948.150 +I.V.A[80]. Dado que el I.V.A es de un 19%, el precio final del equipo de limpieza a vapor es de:

$$Precio_{vapor} = \$948.150 \cdot 1,19 \approx \$1.130.000$$



Figura 39: Limpiadora a vapor doble caldera[80]

Tabla 25: Aspectos técnicos de limpiadora a vapor de doble caldera[80]

Características técnicas	
Modelo	EMILIO
Capacidad calderas	2,8 [l]
Potencia caldera	900+900[w]
Presión trabajo	4,8 [bar]
Temperatura vapor	150 °C
Motor aspiración	1200 [w]
Estanque recuperación	20 [l]
Estanque reserva aguas	4 [l]
Peso máquina	22 [k]

E.2.3. Ahorro de agua

El flujo estimado de agua con la alternativa de limpieza a vapor es de $1[m^3/día]$ mientras que el flujo actual de agua estimado es de $1,3[m^3/día]$, por lo tanto el ahorro de agua que presenta esta alternativa es de:

$$Ahorro = 1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right] - 1 \left[\frac{m^3}{día} \right] = 0,3 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Considerando que como se opera de lunes a viernes, esto corresponde a 20[días/mes], se tiene que el ahorro mensual es de:

$$Ahorro = 0,3 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot 20 \left[\frac{días}{mes} \right] = 6 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

El ahorro de agua corresponde a un porcentaje de ahorro:

$$\%Ahorro = \frac{0,3 \left[\frac{m^3}{día} \right]}{1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right]} \cdot 100 = 23\%$$

E.3. Cambio de sistema de envasado

El equipo cotizado para cambiar el sistema de envasado actual es una máquina de llenado de jugo de cuatro cabezales de la empresa *Shanghai Paixie Packing Machinery CO.LTD* que se muestra en la Figura 40. Además en la Tabla 26, se muestran las principales características técnicas del equipo[81].



Figura 40: Equipo de envasado de líquidos en la industria de alimentos[81]

Tabla 26: Características técnicas de máquina de llenado de líquidos[81]

Parámetros técnicos	
Boquillas de llenado	4
Volumen de llenado	1000 [ml]
Sistema de dosificación	Bomba de pistón
Velocidad de llenado	800-1000 botellas por hora
Precisión de llenado	±0,5%
Voltaje	220 [V] / 60 [Hz]
Potencia	2,2 [kW]
Ruido	≤ 50 [dB]
Peso	1000 [kg]
Material de botella	Vidrio y plástico
Dimensiones	1800 x 900 x 1800 [mm]

La cotización realizada incluye el equipo de llenado de jugo con el tapado de botellas incluido, además, incluye una tabla de alimentación de botellas para que ingresen a la sección de embotellado y una mesa de embalaje para cuando salga la botella ya tapada. Además, incluye cinta transportadora para cada una de estas secciones. Los precios FOB (*free on board*) del equipo principal y los equipos accesorios se presentan en la Tabla 27.

Tabla 27: Precios FOB de equipo de envasado y equipos accesorios[81]

Nombre	Precio unitario (USD)	Cantidad	Precio total (USD)
Tabla de alimentación de botellas	1.000	1	1.000
Máquina de llenado de jugo con tapado de botellas	15.500	1	15.500
Mesa de embalaje	1.000	1	1.000
Cinta transportadora	300	3	900
Total			18.400

Dado que los precios presentados en la Tabla 27 son FOB, es decir, es el valor que tiene antes de salir de su destino[61], se considerará un 20% adicional por conceptos de transporte[62].

$$Precio = USD\ 18.400 \cdot 1,2 = USD\ 22.080$$

Además dado que el valor del dólar es \$667[66], se calcula el precio final del equipo de llenado de botellas:

$$Precio = USD\ 22.080 \cdot \frac{\$}{USD} 667 \approx \$14.700.000$$

Dado que el precio calculado, no incluye el I.V.A, se le adiciona el valor de este impuesto que corresponde a un 19%[64].

$$Precio = 1,19 \cdot \$14.700.000 = \$17.500.000$$

E.3.1. Ahorro de agua

La alternativa de cambio de envasado, al ser un envasado con dosificación, no ocurriría pérdida de jugo y por lo tanto la etapa de limpieza de la botella no existiría, de esta forma, el ahorro de agua sería igual al consumo de agua actual.

Si se considera que la empresa opera de lunes a viernes, se toman como referencia 20 [días/mes], así el ahorro mensual es:

$$Ahorro_{mensual} = 1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot 20 \left[\frac{días}{mes} \right] = 26 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

Anexo F Lavado de equipos

F.1. Calculo de flujo de agua actual

Actualmente, no existen mediciones del flujo de agua utilizado para la limpieza de equipos, sin embargo, tomando como referencia la hidrolavadora cotizada para el lavado de pisos presentado en el Anexo G.2.1, se puede realizar una estimación del flujo utilizado para limpiar los equipos.

Así, como se menciona en el Anexo G.2.1, el flujo promedio de la hidrolavadora es de 415 [l/h]. Considerando que los equipos principales que se deben limpiar corresponden a los de lavado de fruta, molienda, prensado, lavado de botellas, envasado, pasteurización (calentamiento y enfriamiento), etiquetado. Así, si se considera que el proceso de limpieza de equipos toma 20 [min] por cada uno, se tiene que el flujo total de agua es:

$$Flujo = 415 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 8 \left[\frac{equipos}{día} \right] \cdot 20 \left[\frac{min}{equipo} \right] \cdot \frac{1}{60} \left[\frac{h}{min} \right] = 1110 \left[\frac{l}{día} \right] \approx 1,1 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

F.2. Sistema de limpieza criogénica

F.2.1. Equipo de inyección de hielo seco

Para realizar la limpieza criogénica con hielo seco, se requiere un equipo de inyección de hielo seco. Para este propósito se escogió el equipo Aero 40 (Figura 41) que es traído a Chile por la empresa Jet Cold. El sistema de limpieza de hielo seco de la línea Aero utiliza pellets de hielo seco estándar de 3 [mm]. Sus especificaciones técnicas se presentan en la Tabla 28[82].



Figura 41: Sistema de inyección de hielo seco Aero 40[82]

Tabla 28: Características técnicas del sistema de inyección de hielo seco Aero 40[82]

Características técnicas	
Capacidad de la tolva	40 [lb]~18,2[kg]
Velocidad de alimentación variable	0 – 4 [lbs/min]~0 – 1,8 [kg/min]
Rango de presión de inyección	20 – 140 [psi]
Rango de presión de suministro	65 – 140 [psi]
Rango de consumo de aire	1,4 a 6,1 [m ³ /min] a 80 [psi]
Peso	118 [kg]
Tamaño	91 x 51 x 101 [cm]
Requerimientos de energía	200 - 240 [v] (50/60 [Hz]) 4.1 [amp]
Potencia del alimentador	1/2 [HP], AC Motor 1,750 [RPM]

El equipo Aero 40 tiene un valor de USD 35.000 sin I.V.A. Considerando que el valor del dólar es \$667[66], se calcula el precio en pesos chilenos

$$Precio = USD\ 35.000 \cdot \frac{\$}{USD} 667 = \$23.345.000$$

Por otro lado, considerando que el I.V.A es de un 19%, el precio final del equipo es:

$$Precio = \$23.345.000 \cdot 1,19 \approx \$28.000.000$$

F.2.2. Compresor de aire

Para utilizar en el sistema de inyección de pellets de hielo seco, se requiere contar con un flujo de aire constante. De acuerdo a lo indicado en la Tabla 28, el consumo de aire debe ser entre 1,4 y 6,1 [m³/min], por esta razón, se considera el uso de un compresor de aire que permita cumplir con los requerimientos del equipo de limpieza de hielo seco.

Debido a lo anterior, se realizó una cotización en *Pressure Compressores*[83], encontrando un compresor de la línea Pressure, modelo ATG2 60 (Figura 42), que cumple con los requerimientos necesarios para operar el sistema de inyección de hielo seco. Las características técnicas se muestran en la Tabla 29. El compresor tiene un valor de \$2.415.000 + I.V.A. Dado que el I.V.A. corresponde a un 19%, el precio final del equipo es:

$$Precio = \$2.415.000 \cdot 1,19 \approx \$2.900.000$$



Figura 42: Compresor Pressure modelo ATG2 60[83]

Tabla 29: Aspectos técnicos de Compresor Pressure modelo ATG2 60[83]

Características técnicas	
Desplazamiento teórico	1700 [l/min]
Máxima presión	12,07 [bar]
Potencia	360[W]
Potencia del motor	15 [HP]
Nº polos	2
Capacidad	360 [l]
Peso neto	221 [kg]
Dimensiones	600 x 1.420 x 2.000 [mm]

F.2.3. Cooler isotérmico

Para mantener el hielo seco al interior de la planta, es necesario contar con un contenedor de hielo seco, que permita mantener el hielo seco en las condiciones necesarias para poder ser ingresadas al equipo de inyección. Así, se realizó una cotización de un *cooler* isotérmico en *Jet Cold*[82], modelo HR11P2-LC (Figura 43), cuyas características se muestran en la Tabla 30. El precio del *cooler* es de USD 1.300 + I.V.A. Dado que el I.V.A. es de un 19%, el precio final es:

$$Precio = USD\ 1.300 \cdot 1,19 = USD\ 1.547$$

Por otro lado, considerando que el valor del dólar es \$667[66], se calcula el precio en pesos chilenos

$$\text{Precio} = \text{USD } 1.547 \cdot \frac{\$}{\text{USD}} 667 \approx \$1.000.000$$



Figura 43: Cooler isotérmico HR11P2-LC[84]

Tabla 30: Aspectos técnicos de cooler isotérmico HR11P2-LC[84]

Características técnicas	
Dimensiones interiores	36.5" x 21" x 24"
Dimensiones exteriores	43" x 27.5" x 35.25"
Peso	107 [lb]
Libras de pellets	12 [lb]

De esta forma, considerando la inversión del equipo de inyección de hielo seco, del compresor de aire y del *cooler* isotérmico, se tiene una inversión total de:

$$\text{Inversión} = \$28.000.000 + \$2.900.000 + \$1.000.000 = \$31.900.000 \approx \$32.000.000$$

F.2.4. Consumo de hielo seco

Considerando el promedio de hielo seco consumido por el equipo de inyección de hielo seco que se presenta en la Tabla 28, es decir, 0,9[kg/min]. Además, considerando que la limpieza de los equipos con el hielo seco, tomaría un tiempo de 30 [min], el consumo diario de hielo seco es:

$$\text{Consumo}_{\text{hielo seco}} = 0,9 \left[\frac{\text{kg}}{\text{min}} \right] \cdot 30 \left[\frac{\text{min}}{\text{día}} \right] = 27 \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right]$$

El equipo de limpieza criogénica utiliza pellets de 3 [mm] como los que se muestran en la Figura 44.



Figura 44: Pellets de hielo seco de 3 [mm]

Se realizó una cotización en *Clean Ice S.A.*[85], donde se obtuvo que el precio de los pellets de hielo seco es de \$2.000 + I.V.A. por kilogramo. Considerando que el I.V.A. es de un 19%[64], el precio final por kilogramo es:

$$\text{Precio} = \$2.000 \cdot 1,19 = \$2.380$$

Además, considerando que diariamente se consumen 27 [kg] de pellets de hielo seco, el precio diario del consumo de pellets de la limpieza de equipos es:

$$\text{Precio} = \frac{\$2.380}{[\text{kg}]} \cdot 27 \left[\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right] \approx \frac{\$64.000}{\text{día}}$$

Así, considerando que en AFE se opera de lunes a viernes, un mes se estima como 20 días, por lo tanto, el precio mensual del hielo seco es:

$$\text{Precio} = \frac{\$64.000}{\text{día}} \cdot 20 \left[\frac{\text{días}}{\text{mes}} \right] = \$1.280.000$$

F.2.5. Ahorro de agua

Dado que el sistema de limpieza criogénica no utiliza agua, el ahorro de agua diaria corresponde al consumo diario de agua que se tiene actualmente en la limpieza de equipos. Así, considerando que la empresa opera de lunes a viernes, y un mes tiene 20 días hábiles, se tiene que el ahorro mensual es:

$$Ahorro\ mensual_{agua} = 1,1 \left[\frac{m^3}{día} \right] \cdot 20 \left[\frac{días}{mes} \right] = 22 \left[\frac{m^3}{mes} \right]$$

Anexo G Lavado de pisos

G.1. Cálculo de flujo actual

Para estimar el flujo de agua del lavado de pisos y bins, se midió el volumen de agua en una probeta en un tiempo determinado. Estos valores se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31: Mediciones de flujo de manguera en la planta de Jugos AFE

Muestras	Volumen [ml]	Tiempo [s]	Flujo [l/s]	Flujo [l/min]
1	520	3,16	0,165	9,87
2	445	2,73	0,163	9,78
Promedio			0,164	9,83

En las instalaciones de AFE, hay distintas salas del proceso: lavado de fruta, molienda y prensado, envasado, enfriamiento y en cada una de estas salas hay al menos una manguera para lavar los pisos y los bins. La sala de envasado es la más grande de todas las salas ya que aquí es donde se pasteuriza el jugo, se limpian las botellas y se envasan las botellas con el jugo, así que se considerarán dos mangueras en esta sala y una en las otras.

Por otro lado, dado que estas mangueras se utilizan tanto para el lavado de pisos como para el lavado de bins se considerará que el tiempo de operación de cada una de estas mangueras es de 90 minutos.

El volumen de agua utilizado en un día es:

$$V = 9,83 \left[\frac{l}{min} \right] \cdot 90 \left[\frac{min}{día} \right] \cdot 5 = 4.425 \left[\frac{l}{día} \right] \approx 4,4 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

G.2. Elección de hidrolavadora

De acuerdo a lo encontrado en el mercado, se escogió para evaluar la hidrolavadora HD 6/16-4 M Plus que tiene un valor de \$1.587.597[86]. De acuerdo a las características proporcionadas por el distribuidor es una limpiadora de alta presión móvil con agua fría y motor de corriente alterna de 4 polos y marcha lenta. Las características técnicas y equipamientos se muestran en la Tabla 32 y Tabla 33.

Tabla 32: Características técnicas de la hidrolavadora HD 6/16-4 M Plus[86]

Características técnicas	
Tipo de corriente [PH/V/HZ]	1/230/50
Potencia conexión [kW]	3,4
Caudal [l/h]	230-600
Presión de trabajo [bar/MPa]	30-160
Presión Máxima	190/19
Temperatura máx. [°C]	60
Peso [kg]	24
Dimensiones [mm] (largo x ancho x alto)	360x375x925

Tabla 33: Equipamiento de la hidrolavadora HD 6/16-4 M Plus[86]

Equipamiento	
Pistola:	Pistola Easy Press
Manguera de alta presión [m]:	10
Lanza [mm]	850
Boquilla triple conmutable	Funcionamiento manual

G.2.1. Cálculo de flujo con hidrolavadora

Si se considera el mismo proceso de lavado de pisos y bins, pero realizado con una hidrolavadora. Asumiendo como caudal el promedio de los valores suministrados por el proveedor encontrado, es decir entre 230 [l/h] y 600 [l/h], siendo el caudal promedio igual a 415 [l/h], el volumen de agua utilizado en un día sería

$$V = 415 \left[\frac{l}{h} \right] \cdot 1,5 \left[\frac{h}{día} \right] \cdot 5 = 3113 \left[\frac{l}{día} \right] \approx 3,1 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

G.3. Ahorro de agua

Con el uso de la hidrolavadora, existiría un menor consumo de agua diario equivalente a la diferencia entre el volumen dado por las mangueras y el que se ocuparía con la hidrolavadora.

$$Ahorro = 4,4 \left[\frac{m^3}{día} \right] - 3,1 \left[\frac{m^3}{día} \right] = 1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Para calcular el ahorro mensual, como AFE opera de lunes a viernes, se consideran 20 días al mes. De esta forma el ahorro mensual que presenta la alternativa es:

$$Ahorro = 20 \left[\frac{días}{mes} \right] \cdot 1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right] = 26 \left[\frac{m^3}{día} \right]$$

Este ahorro, se traduce en términos porcentuales como sigue:

$$\%ahorro = \frac{1,3 \left[\frac{m^3}{día} \right]}{4,4 \left[\frac{m^3}{día} \right]} \cdot 100 = 30\%$$