



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

**ESTUDIO Y DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE QUERATINA A
PARTIR DE PELO CANINO MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA

CONSTANZA BELÉN CONCHA SOTO

PROFESORA GUÍA:
IRENE MARTÍNEZ BASTERRECHEA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARÍA ELENA LIENQUEO CONTRERAS
FELIPE DÍAZ ALVARADO

SANTIAGO DE CHILE

2023

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL QUÍMICA
POR: CONSTANZA BELÉN CONCHA SOTO
FECHA: 2023
PROF. GUÍA: IRENE MARTÍNEZ

ESTUDIO Y DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE QUERATINA A PARTIR DE PELO CANINO MEDIANTE HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA

En Chile, cada año se obtiene un alza en la tenencia de perros, y con ello un aumento en la contaminación producida por estos animales con sus heces, orina y pelos. En cuanto al pelo canino específicamente, en algunos países ha sido utilizado para fabricación de fibras textiles y/o prendas de vestir, sin embargo, en nuestro país no existe ningún tipo de gestión alternativa para aprovechar este residuo. Por esta razón, es que se propone un manejo alternativo de este recurso, utilizándolos como materia prima para la obtención de queratina. La queratina es una proteína polimérica que se encuentra presente en animales en sus pelos, uñas, cuernos, plumas, piel, entre otros. Esta puede ser extraída mediante métodos químicos, hidrotermales o enzimáticos, para ser aprovechada en aplicaciones diversas, desde cosmética hasta biomedicina.

El presente trabajo tiene como propósito estudiar y diseñar el proceso de obtención de queratina a partir de pelo canino mediante hidrólisis enzimática. Para lo anterior se realiza la selección de etapas y dimensionamiento de equipos principales requeridos en el proceso. Posteriormente, se analiza la factibilidad económica y técnica del diseño realizado.

El proceso productivo diseñado abarca tres macroetapas: Preparación de la materia prima, Extracción de queratina y Concentración de queratina. Se considera una masa de procesamiento de 73,5 kilogramos de pelo canino diario, obtenido desde peluquerías caninas de la Región Metropolitana de Chile; mediante hidrólisis enzimática, utilizando un detergente de uso comercial con contenido de proteasas, se alcanza un rendimiento del 26 % obteniendo hidrolizado de queratina con un 71 % de pureza.

Para llevar a cabo el proyecto se requiere de una inversión de cerca de 160 mil dólares. Y en cuanto a operación, los costos asociados a esta corresponden a más de 300 mil dólares anuales. Al establecer un precio de venta competitivo de 42 dólares por kilogramo de hidrolizado de queratina, no se obtienen ganancias netas. Además, se determina que fijando un precio de venta menor a 40 dólares, el proyecto se vuelve indudablemente no rentable.

Como conclusión principal, si se adapta estrategia económica debida, es posible generar un proyecto rentable en el tiempo con la propuesta diseñada en este trabajo.

Como principal proyección, se espera que el estudio se pueda complementar con nuevas investigaciones y experiencias prácticas con el fin de disminuir la incertidumbre para su futura aplicación. Además, se aspira a que el trabajo realizado pueda contribuir a la exploración de nuevas estrategias de gestión de residuos conscientes y amigables con el medioambiente.

*A mi familia
que me permitió hacer posible todo esto.*

¡Gracias!

Agradecimientos

Hace 6 años imaginaba de mil formas este momento, pero ninguna se parecía ni un poco a lo que estoy viviendo ahora. Hace 6 años era una niña llena de ilusión y con ganas de cambiar el mundo y ser parte de ese cambio. Hoy soy una mujer llena de metas, con aún más ganas de cambiarlo todo y con las herramientas necesarias para hacerlo.

A lo largo de estos 6 años llenos de experiencias y cambios, me di cuenta quién quiero ser y qué quiero hacer realmente en mi vida. Me fui nutriendo de conocimientos, personas, amor, aprendizajes, altos y bajos, que me permiten hoy ser quién soy.

Quiero comenzar agradeciéndole a mi papá y a mi mamá, que me dieron todas las herramientas necesarias para estudiar y sacar adelante esta gran carrera. Por apoyarme en cada decisión que he tomado y no juzgarme por ellas. También quiero agradecer a mi hermano, por ser quién es e inspirarme a crecer cada día más a pesar de la distancia.

A mis bebés perrunas también les agradezco porque me acompañan día a día, en mis peores y mejores momentos, y me aman incondicionalmente.

A mis amigas y amigos, también debo agradecerles, por acompañarme a cruzar esta etapa de mi vida y convertirla en una de las mejores hasta ahora. Todo es más fácil y bonito acompañada de ella/os.

Gracias también a todos los docentes que se cruzaron en mi camino, desde mi paso por la enseñanza básica, hasta mi último día de cuarto medio. Les recuerdo siempre, han impactado en mí de una manera que no imaginan. Gracias por mostrarme lo hermoso de la pedagogía y lo significativo que es para el mundo. Espero en un futuro no muy lejano convertirme en su colega y sembrar mi granito de arena en futuros estudiantes, tal como ellos lo lograron conmigo.

No puedo dejar de agradecer también a mi profesora guía Irene, por apoyarme en cada uno de los momentos en los que me sentí desorientada, por entenderme y motivarme a seguir siempre. Gracias también a los demás miembros de la comisión, María Elena y Felipe, porque fueron guías importantísimos durante mi paso por el departamento y aportaron a que me enamorara de esta carrera.

Finalmente, quiero agradecer al mejor compañero y gran amor de mi vida, Pedro Pablo. Gracias por ser como eres conmigo y por mí. Gracias por no dejarme sola nunca. Gracias por amarme cada día. Gracias por darme la oportunidad de sentir algo tan hermoso y valioso como lo que siento por ti. Contigo TODO.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.2. Motivación	2
2. Objetivos	3
3. Antecedentes	4
3.1. Pelo canino	4
3.1.1. Situación en Chile	4
3.1.2. Composición y características del pelo canino	4
3.1.3. Aplicaciones	5
3.2. Queratina	5
3.2.1. Tipos	6
3.2.2. Métodos de Extracción	6
3.2.2.1. Métodos Químicos	7
3.2.2.2. Método de Irradiación de Microondas	7
3.2.2.3. Métodos Hidrotermal	8
3.2.2.4. Método Enzimático	8
3.2.3. Aplicaciones	8
3.2.4. Estado del arte de extracción de queratina	9
4. Definición de caso base	10
5. Bases de diseño	12
5.1. Exclusiones	12
6. Selección de línea productiva	13
6.1. Preparación de materia prima	15
6.2. Extracción de queratina	15
6.3. Concentración de queratina	16
7. Balances de masa	17
7.1. Preparación de materia prima	19
7.1.1. Cardado	19
7.1.2. Prensado	20
7.1.3. Lavado	21
7.1.4. Tamizado	24
7.1.5. Secado	26

7.1.6. Molienda	32
7.2. Extracción de queratina	35
7.2.1. Hidrólisis	35
7.3. Concentración de queratina	39
7.3.1. Separación	39
7.3.2. Concentrado	41
8. Dimensionamiento y selección de equipos	45
8.1. Preparación de materia prima	45
8.1.1. Tanque de lavado	45
8.1.2. Tamiz	49
8.1.3. Secador rotatorio	50
8.1.4. Molino de cuchillas	52
8.2. Extracción de queratina	54
8.2.1. Tanque de hidrólisis	54
8.3. Concentración de queratina	58
8.3.1. Hidrociclón	58
8.3.2. Centrífuga de discos	61
9. Planificación de la operación	65
10. Análisis económico	67
10.1. Costos de inversión	67
10.1.1. Costos directos	67
10.1.2. Costos indirectos	69
10.1.3. Total	70
10.2. Costos de capital de trabajo	70
10.3. Costos de operación	71
10.3.1. Costos fijos	71
10.3.2. Costos variables	72
10.3.3. Total	73
10.4. Ingresos	73
10.5. Flujo de caja	75
10.5.1. Indicadores	77
11. Discusión y Conclusiones	79
11.1. Discusiones	79
11.2. Conclusiones	81
11.3. Recomendaciones	82
Bibliografía	82
Anexos	87
A. Resultados del balance de masa	87
A.1. BM: Cardado	87
A.2. BM: Prensado	87
A.3. BM: Lavado	88
A.4. BM: Tamizado	88

A.5.	BM: Secado	88
A.6.	BM: Molienda	89
A.7.	BM: Hidrólisis	89
A.8.	BM: Separación	89
A.9.	BM: Concentrado	90
B.	Resultados del dimensionamiento de equipos	91
B.1.	DE: Tanque de lavado	91
B.2.	DE: Tamiz	91
B.3.	DE: Secador rotatorio	91
B.4.	DE: Molino de cuchillas	91
B.5.	DE: Tanque de hidrólisis	92
B.6.	DE: Hidrociclón	92
B.7.	DE: Centrífuga de discos	92
C.	Análisis económico	93
C.1.	Cotización de equipos	93
C.2.	Consumo de agua potable del proceso	93
C.3.	Consumo energético del proceso	94
C.4.	Depreciación de equipos	94

Índice de Tablas

3.1.	Composición Química del pelo canino. [Elaboración propia a partir de [5]] . . .	5
3.2.	Contenido de aminoácidos promedio presente en Queratina. [Elaboración propia a partir de [3]]	6
7.1.	Datos utilizados en balance de masa en etapa de cardado.	19
7.2.	Flujos de entrada y salida de etapa de cardado.	20
7.3.	Datos utilizados en balance de masa en etapa de prensado.	21
7.4.	Flujos de entrada y salida de etapa de prensado.	21
7.5.	Datos utilizados en balance de masa en etapa de lavado.	22
7.6.	Flujos de entrada y salida de etapa de lavado.	24
7.7.	Datos utilizados en balance de masa en etapa de tamizado.	24
7.8.	Flujos de entrada y salida de etapa de tamizado.	26
7.9.	Datos utilizados en balance de masa de etapa de secado.	27
7.10.	Flujos de entrada y salida de etapa de secado.	32
7.11.	Temperaturas de flujos en la etapa de secado.	32
7.12.	Datos utilizados en balance de masa de etapa de tamizado.	33
7.13.	Flujos de entrada y salida de etapa de tamizado.	34
7.14.	Datos utilizados en balance de masa en etapa de hidrólisis.	35
7.15.	Flujos de entrada y salida de etapa de hidrólisis.	38
7.16.	Datos utilizados en balance de masa en etapa de separación.	39
7.17.	Flujos de entrada y salida de etapa de separación.	41
7.18.	Datos utilizados en balance de masa en etapa de concentrado.	42
7.19.	Flujos de entrada y salida de etapa de concentrado.	44
8.1.	Datos utilizados para el dimensionamiento del tanque de lavado.	46
8.2.	Dimensiones para el tanque de lavado.	49
8.3.	Datos utilizados para el dimensionamiento del tamiz.	49
8.4.	Dimensiones para el tamiz.	50
8.5.	Datos utilizados para dimensionamiento del secador rotatorio.	50
8.6.	Dimensiones para el secador rotatorio.	51
8.7.	Datos utilizados para dimensionamiento de molino de cuchillas.	52
8.8.	Dimensiones para el molino de cuchillas.	53
8.9.	Datos utilizados para dimensionamiento del tanque de hidrólisis.	54
8.10.	Dimensiones para el tanque de hidrólisis.	57
8.11.	Datos utilizados para dimensionamiento de hidrociclón.	58
8.12.	Dimensiones para el hidrociclón.	61
8.13.	Datos utilizados para dimensionamiento de la centrífuga de discos.	62
8.14.	Dimensiones para la centrífuga de discos.	64
10.1.	Precios de equipos.	68
10.2.	Detalle de los costos de inversión directos del proceso.	69

10.3.	Detalles de los costos de inversión indirectos del proceso.	70
10.4.	Total de costos de inversión.	70
10.5.	Costo de mano de obra.	71
10.6.	Total de costos fijos de operación.	72
10.7.	Detalles de costos de consumibles y reactivos del proceso.	72
10.8.	Resumen de costo del consumo anual de insumos básicos de la operación. . . .	73
10.9.	Total de costos variables de operación.	73
10.10.	Total de costos de operación.	73
10.11.	Precios de hidrolizado de queratina en mercado.	74
10.12.	Precios ponderados de hidrolizado de queratina.	74
10.13.	Ingresos anuales por ventas.	74
10.14.	Flujo de caja del proyecto.	76
10.15.	Flujo de caja del proyecto con precio de venta de 39 USD/kg.	78
A.1.	Balance de masa etapa de cardado.	87
A.2.	Balance de masa etapa de prensado.	87
A.3.	Balance de masa etapa de lavado.	88
A.4.	Balance de masa etapa de tamizado.	88
A.5.	Balance de masa etapa de secado.	88
A.6.	Balance de masa etapa de molienda.	89
A.7.	Balance de masa etapa de hidrólisis.	89
A.8.	Balance de masa etapa de separación.	89
A.9.	Balance de masa etapa de concentrado.	90
B.1.	Dimensionamiento de diseño del tanque de lavado.	91
B.2.	Dimensionamiento de diseño del tamiz.	91
B.3.	Dimensionamiento de diseño del secador.	91
B.4.	Dimensionamiento de diseño del molino.	91
B.5.	Dimensionamiento de diseño del tanque de hidrólisis.	92
B.6.	Dimensionamiento de diseño del hidrociclón.	92
B.7.	Dimensionamiento de diseño de la centrífuga.	92
C.1.	Dimensiones características de diseño y de catálogo de los equipos del proceso.	93
C.2.	Detalle del consumo anual de agua potable en el proceso.	93
C.3.	Detalle del consumo eléctrico por equipo.	94
C.4.	Depreciaciones de equipos.	94

Índice de Ilustraciones

3.1.	Métodos de extracción de Queratina. [Elaboración Propia a partir de [9].] . . .	7
3.2.	Aplicaciones para desechos revalorizados ricos en queratina.[Elaboración Propia]	8
6.1.	Diagrama de bloques del proceso de extracción de queratina a partir de pelo canino. [Creación propia]	14
7.1.	Diagrama de bloques del proceso de extracción de queratina a partir de pelo canino. [Creación propia]	18
7.2.	Diagrama de bloque - Etapa de cardado. [Creación propia]	19
7.3.	Diagrama de bloque - Etapa de prensado. [Creación propia]	20
7.4.	Diagrama de bloque - Etapa de lavado. [Creación propia]	22
7.5.	Diagrama de bloque - Etapa de tamizado. [Creación propia]	24
7.6.	Diagrama de bloque - Etapa de secado. [Creación propia]	26
7.7.	Carta psicrométrica. [Editado de [25].]	28
7.8.	Diagrama de bloque - Etapa de molienda. [Creación propia]	33
7.9.	Diagrama de bloque - Etapa de hidrólisis. [Creación propia]	35
7.10.	Diagrama de bloque - Etapa de separación. [Creación propia]	39
7.11.	Diagrama de bloque - Etapa de concentrado. [Creación propia]	41
8.1.	Diagrama del tanque de lavado. [Creación propia]	46
8.2.	Número de potencia vs número de Reynolds para 1: Turbina Rushton, 2: Canaleta y 3: Hélice marina. [Editado de [29]]	48
8.3.	Diagrama del tamiz. [Creación propia]	49
8.4.	Diagrama del secador rotatorio. [Creación propia]	50
8.5.	Diagrama del molino de cuchillas. [Creación propia]	52
8.6.	Diagrama del tanque de hidrólisis. [Creación propia]	54
8.7.	Número de potencia vs número de Reynolds para 1: Turbina Rushton, 2: Canaleta y 3: Hélice marina. [Editado de [29]]	56
8.8.	Diagrama del hidrociclón. [Creación propia]	58
8.9.	Esquema de dimensiones de un hidrociclón tipo Bradley. [35]	59
8.10.	Parámetros de hidrociclón de tipo Bradley. [35]	60
8.11.	Diagrama de la centrífuga. [Creación propia]	61
9.1.	Distribución de actividades de línea productiva. [Creación propia]	66

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto

En Chile se ha registrado un aumento importante en la tenencia de mascotas en los últimos años, en su mayoría perros [1]; esto implica directamente un aumento en los desechos y la contaminación provocada por sus heces, orina y pelos.

En cuanto a los pelos caninos, corresponden al principal desecho de peluquerías caninas, las cuales se han vuelto cada vez más populares debido al aumento de perros con dueños en nuestro país [2]. Este residuo no tiene una clasificación específica ni se rige bajo ningún marco legal para su disposición final, por lo que suele terminar en rellenos sanitarios junto a todos los residuos no gestionados sin ser sometidos a procesos de purificación adecuada. Dada a su composición proteica, rica en queratina, este compuesto tiene alto potencial y podría gestionarse mediante compostaje o ser utilizado para confección de fibras textiles, como sucede en otros lugares del mundo, sin embargo, en nuestro país no se realiza ninguna de estas opciones de forma masiva.

La queratina es uno de los polímeros más abundantes del mundo. Corresponde a una proteína insoluble, fibrosa y rígida, y se pueden encontrar 2 tipos de ella: α -queratina y β -queratina. La α -queratina se presenta principalmente en mamíferos, en su piel, uñas, pelo, pezuñas o lana. La β -queratina se puede encontrar en conchas, garras, plumas o picos de aves y reptiles [3]. Dentro de las aplicaciones de esta proteína se puede encontrar su uso en cosmética, creación de biomateriales, biomedicina y producción de suplementos alimenticios.

La queratina puede ser obtenida desde diferentes fuentes orgánicas, entre las cuales se encuentra el pelo canino. Para esto, se realizan métodos para hidrolizar y extraer la queratina de forma química, mecánica o enzimática. La extracción química consta del uso de solventes reductores u oxidativos que permiten la ruptura de los enlaces presentes en la proteína. El método mecánico actúa gracias a condiciones de operación críticas que permiten romper los enlaces de la queratina. Respecto al método enzimático, tal como lo dice su nombre, la ruptura de enlaces se realiza gracias a la acción de una enzima.

1.2. Motivación

La gestión de residuos en Chile se ha convertido en una preocupación cada vez más relevante debido a los efectos negativos que puede tener sobre el medio ambiente y la salud pública. En particular, la cantidad de residuos generados por peluquerías caninas puede ser significativa, y su disposición inadecuada puede contribuir a la contaminación del suelo y del agua. Por esta razón, se propone utilizar el pelo de perro como materia prima para obtener queratina mediante hidrólisis enzimática como una solución innovadora y sostenible. Este trabajo permitirá evaluar la viabilidad de esta alternativa y podría contribuir al desarrollo de un modelo de gestión de residuos más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

Finalmente, el presente documento tiene como propósito exponer la propuesta de estudio y diseño del proceso de obtención de queratina a partir de pelo canino y realizar un análisis de factibilidad, evaluando aspectos económicos y técnicos, como trabajo para optar al Título de Ingeniera Civil Química.

Capítulo 2

Objetivos

El objetivo general del Trabajo de Título corresponde a diseñar el proceso de obtención de queratina a partir de hidrólisis enzimática utilizando pelo canino como materia prima.

Para cumplir con esto se tienen los siguientes objetivos específicos:

1. Estudiar el estado actual de la gestión de residuos provenientes peluquerías caninas y analizar su valorización como materia prima del proceso.
2. Determinar bases de diseño y realizar balances de masa y dimensionamiento de equipos involucrados en el proceso.
3. Evaluar la factibilidad del proceso diseñado a través de un análisis económico y técnico.

Capítulo 3

Antecedentes

El propósito de la siguiente sección es enmarcar el estudio a realizar para el Trabajo de Título. Se busca dar contexto y entregar información relevante para el correcto entendimiento del tema.

3.1. Pelo canino

3.1.1. Situación en Chile

La tenencia de mascotas es una realidad muy amplia en Chile, en donde es posible aseverar, según la encuesta CADEM de Tenencia de Mascotas del año 2022 [1], en donde el 86 % de los chilenos tiene al menos una mascota, lo que muestra un alza de 13 puntos respecto al año 2019. Dentro de esta población, el 79 % de las mascotas corresponde a perros. Además de las personas que no tienen mascota, el 81 % asegura que en un futuro optaría por tener un perro. La situación actual se asemeja a la de algunas sociedades europeas, en donde existen menos niños menores de 15 años que mascotas en los hogares.

Adicionalmente, de acuerdo a un CENSO realizado por la Universidad Católica de Chile en el año 2022 [2], se reveló que existen 8.306.650 perros con dueño/a en nuestro país. Esto da pie para proyectar una tendencia al alza importante de perros en los hogares chilenos para los próximos años.

Con todo lo anterior, se puede suponer una futura alza en la contaminación provocada por los perros en Chile, ya sea por sus heces, orinas o pelos. Específicamente refiriéndose a pelos, estos corresponden al desecho principal de peluquerías caninas, las cuales rigen la gestión de su basura solo bajo el *Decreto n° 725* [4] que norma las responsabilidades de las empresas en el manejo de desperdicios y basura. Sin embargo, este decreto es más bien general y suele suceder que los pelos caninos se disponen en rellenos sanitarios sin someterse a algún proceso de purificación o eliminación de contaminantes, aumentando los riesgos por contaminación de estos.

3.1.2. Composición y características del pelo canino

El pelo canino posee la capacidad de regular la temperatura corporal del animal. En cuanto a sus aspectos físicos, dependen de las características de cada especie. En cuanto a su composición química, se sabe que este es rico en queratina y de manera más específica se

tiene la composición presentada en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1: Composición Química del pelo canino. [Elaboración propia a partir de [5]]

Compuesto	Porcentaje
Carbono	44 %
Oxígeno	30 %
Nitrógeno	15 %
Hidrógeno	6 %
Azufre	5 %

Si bien, el pelo canino se puede clasificar según su forma, tipo o textura, se considera que para el estudio en cuestión esto no es altamente relevante: además, es difícil que se encuentre aislado según estas clasificaciones dentro de las peluquerías caninas. Es por esto, que para el desarrollo del Trabajo de Título, solo se encasillará con características promedio al pelo canino.

3.1.3. Aplicaciones

En algunos lugares del mundo, hay registro de que se utilizó pelo canino para confección de fibras textiles y prendas de ropa, como en Salish [6], México [7] y Alemania [8]. Otra posible gestión de los pelos caninos es el compostaje, sin embargo, ninguna de estas alternativas está masificada a lo largo de nuestro país y solo se desechan.

Dado lo anterior, es posible deducir que existe un espacio amplio para la propuesta de nuevos métodos de gestión del pelo canino en Chile, como por ejemplo, utilizándolo para la extracción de queratina.

3.2. Queratina

La queratina es el tercer polímero más abundante en el mundo; tiene una naturaleza proteica rígida y fibrosa. En su estructura primaria, los aminoácidos que más abundan en la queratina son los presentados en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2: Contenido de aminoácidos promedio presente en Queratina. [Elaboración propia a partir de [3]]

Aminoácido	Porcentaje
Glicina	21,5 %
Cisteína	12,2 %
Alanina	11 %
Ácido aspártico	9,3 %
Lisina	7,3 %
Treonina	4,8 %
Valina	4,2 %
Fenilalanina	3,9 %
Leucina	3,2 %
Prolina	2,3 %
Isoleucina	1,2 %
Otras	19,1 %

3.2.1. Tipos

En su estructura secundaria, la cadena de aminoácidos se ensambla y comienzan a aparecer diferentes interacciones entre ellas, como puentes de hidrógenos u otros enlaces covalentes. De esta manera se pueden diferenciar dos tipos de queratina, la α -queratina y la β -queratina. [3]

La α -queratina es aquella presente en mamíferos, en sus pelos, uñas, plumas, cuernos, entre otros. Este tipo de queratina presenta una estructura tipo hélice debido a la presencia de cisteína en su cadena de aminoácidos, la cual fomenta la formación de puentes disulfuro entre fibras, lo que provoca la forma helicoidal antes mencionada. [3]

Por otro lado, la β -queratina carece de cisteína en su cadena de aminoácidos, por lo que no se promueve la formación de puentes disulfuro y, en su lugar, se conforman puentes de hidrógeno, los cuales dan paso a la generación de estructuras laminares. Este tipo de queratina se encuentra presente en picos, plumas, garras de reptiles y aves en su mayoría. [3]

3.2.2. Métodos de Extracción

Dentro del mundo industrial es posible encontrar diversos métodos de extracción de queratina, aplicados para valorizar los residuos queratinosos. La Figura 3.1 presenta de forma gráfica las principales alternativas para el proceso de extracción.

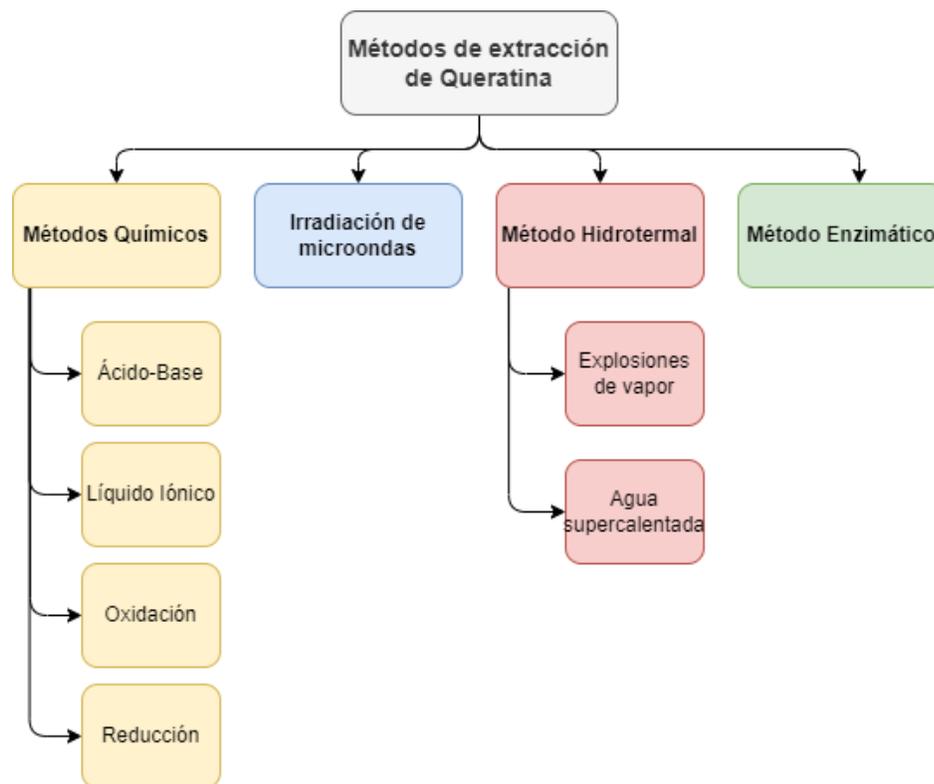


Figura 3.1: Métodos de extracción de Queratina. [Elaboración Propia a partir de [9].]

3.2.2.1. Métodos Químicos

Los métodos químicos competen un amplio espectro de formas de obtención y se basan en el uso de solventes, compuestos o reactivos químicos que permiten la ruptura de los enlaces entre las fibras de queratina para realizar la hidrólisis. [9]

Estos procesos requieren de altas temperaturas y presiones que hacen que, a pesar de que sea una hidrólisis altamente eficiente, se pierdan ciertos grupos de aminoácidos importantes, lo que provocará que el producto final tenga un menor valor nutricional, limitando las futuras aplicaciones de la proteína obtenida.

Vale destacar que la obtención de queratina a través de métodos químicos puede no ser amigable con el medioambiente, ya que se producen ciertos gases nocivos como el CO y el SO₂, responsables de causar cáncer, variadas enfermedades respiratorias y cardiovasculares. [9]

3.2.2.2. Método de Irradiación de Microondas

La Irradiación de Microondas consiste en un calentamiento homogéneo de la estructura, lo que promueve la hidrólisis. Se destaca que este método tiene bajos tiempos de reacción, considerándose rápido y ahorrador de energía. [9]

La principal desventaja de este método es que se debe someter la proteína a altas temperaturas que podrían afectar la funcionalidad final de la queratina. En adición a lo anterior, los rendimientos del proceso no son los más altos. [9]

3.2.2.3. Métodos Hidrotermal

Los Métodos Hidrotermales corresponden a tratamientos con cambios de temperatura y presión, en diferentes rangos, que producen el rompimiento de las cadenas a oligopéptidos. A través de estos métodos es posible alcanzar altos niveles de rendimiento de la operación, sin embargo, por someter a tanto estrés estructural a la biomasa se obtiene queratina desnaturalizada. [9]

3.2.2.4. Método Enzimático

La hidrólisis enzimática no requiere de tratamientos previos o posteriores y se basa en la utilización de queratinasas que se pueden obtener directamente desde cultivos bacterianos u otros tipos de compuestos que contengan esta enzima. El mayor beneficio que tiene esto es que la calidad de los aminoácidos es asegurada, pues la hidrólisis enzimática no ataca las cadenas, ya que no es un método invasivo, que permite preservar las propiedades de este. [9]

3.2.3. Aplicaciones

La queratina obtenida a partir de residuos o desechos puede revalorizarse utilizándola para diferentes aplicaciones, tal como muestra la Figura 3.2:

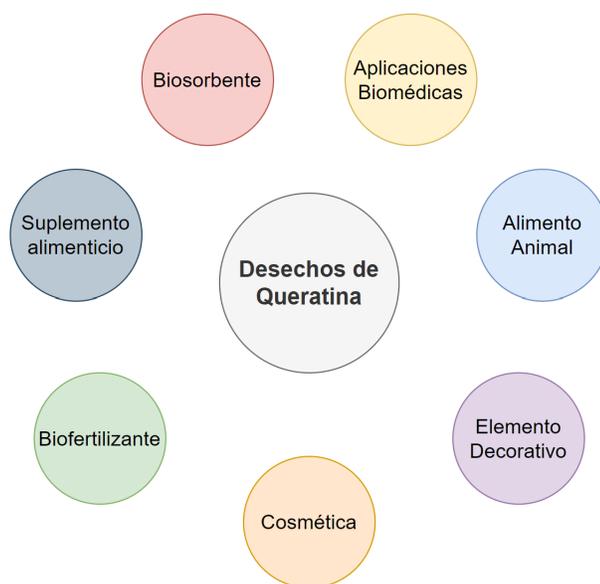


Figura 3.2: Aplicaciones para desechos revalorizados ricos en queratina.[Elaboración Propia]

Puede aplicarse desde la cosmética, que es el área más común, hasta aplicaciones biomédicas, aportando en la fabricación de nuevas biotecnologías [9]. En cualquiera de los casos en necesario realizar un análisis más profundo respecto a los requerimientos que cada aplicación tiene en cuanto a la queratina, es decir, niveles de pureza, largo de las cadenas, entre otras propiedades.

3.2.4. Estado del arte de extracción de queratina

Actualmente, en Chile no existen antecedentes respecto a la extracción de queratina a gran escala, sin embargo, en el año 2019 un grupo de estudiantes de Ingeniería Civil Química y Biotecnología de la Universidad de Chile llevaron a cabo un proyecto similar gracias al financiamiento de la fundación Copec-UC. Los ahora ingenieros, durante su paso por la universidad en el año 2019, como parte de un proyecto de un curso, diseñaron el proceso de producción de un bioplástico mediante la obtención de queratina extraída de plumas de aves. Durante la pandemia de COVID-19, bajo el financiamiento antes mencionado, montaron un laboratorio piloto en donde pusieron en marcha el proceso diseñado por ellos mismos. Finalmente, no existe más información posterior respecto a este innovador proyecto. [10]

Por otro lado, en cuando al extranjero, se conocen algunas empresas que tienen incorporada la extracción de queratina en sus procesos. En Nueva Zelanda existe *Keraplast Manufacturing*, que se dedica a la producción de queratina a partir de fibras de lana [11]. También, en Reino Unido está *Worn Again Technologies* que se dedica al reciclaje textil y extrae queratina de fibras de cuero para producir otros materiales textiles [12].

Finalmente, en cuanto al estado actual de la implementación del proceso de extracción de queratina en el mundo, se pueden encontrar un sinnúmero de estudios e investigaciones teóricas o a pequeña escala, aunque respecto a empresas y/o asociaciones dedicadas industrialmente a esto no hay un mayor registro.

Capítulo 4

Definición de caso base

En esta sección del informe, se discutirá el proceso de selección de la cantidad de pelo canino a procesar, en el contexto de la Región Metropolitana.

La selección de la cantidad de producto a procesar es un factor crítico para dimensionar el proceso de producción de queratina. Esta decisión depende principalmente de la demanda que presenta el mercado; dada la gran versatilidad de este producto (Figura 3.2), es posible considerar que esta es amplia. En este sentido, es seguro asumir que las industrias que demandan queratina están dispuestas a recibir ofertas del producto siempre y cuando se mantenga una calidad similar a la que ya adquieren y a un precio competitivo. Por lo tanto, se llevó a cabo una evaluación en el mercado para determinar productos similares (Tabla 10.11).

La oferta de peluquerías caninas en la Región Metropolitana es extensa y variada, considerándose un mercado de libre competencia. Algunas características que las diferencian son la calidad de servicio, el costo y la disponibilidad horaria. Dado a lo anterior, se apuntará a generar contacto con aproximadamente 21 peluquerías.

Respecto a la cantidad de pelo que se obtiene a partir del servicio de peluquería de un perro, se realizó una encuesta con una peluquería canina de la comuna de Estación Central llamada *Canne's*. Este negocio cuenta con 2 peluqueros con turnos de trabajo de 8 horas, en donde realizan aproximadamente 5 atenciones de corte canino. Adicionalmente, realizaron pesaje del pelo total obtenido en un día laboral y se obtuvo en promedio una cantidad de 350 gramos de pelo por perro atendido.

Cabe destacar que estos valores podrían variar de una peluquería a otra, sin embargo, debido a la falta de información disponible se calculará la cantidad base a procesar según lo antes mencionado.

- 21 peluquerías caninas.
- 2 peluqueros/as de lunes a viernes, con horario laboral de 8 horas.
- Atención de 5 perros diarios por trabajador/a.
- Masa de pelo producida por corte de 350 gramos.

A partir de lo anterior se puede realizar el siguiente cálculo:

$$21 \text{ peluquerías} \cdot 2 \frac{\text{peluquero/a}}{\text{peluquería}} \cdot 5 \frac{\text{perro}}{\text{peluquero/a} \cdot \text{día}} \cdot 350 \frac{\text{gr pelo canino}}{\text{perro}}$$

El balance anterior arroja que se reúne un total de 73,5 kilogramos de pelo canino diarios, provenientes de 21 peluquerías caninas de la Región Metropolitana.

Cabe destacar, que se consideran 21 peluquerías, pues así es posible suplir la demanda de materia prima de manera holgada y descentralizada, lo que es crucial para la continuidad de operación. En el caso de que se requiera escalar la producción, se pueden sumar más peluquerías caninas.

Capítulo 5

Bases de diseño

Para el diseño de la extracción de queratina a partir de pelo canino, se adoptaron ciertas bases que rigen el proyecto y que consideran aspectos logísticos y operacionales. Estas corresponden a:

- Para la producción de queratina se utiliza pelo canino proveniente de desechos de peluquerías caninas de la región Metropolitana.
- Se consideran locales que ofrezcan únicamente el servicio de peluquería canina, ya que el pelo canino proveniente de veterinarias con servicio de peluquería podría presentar contaminación biológica debido al tipo de procedimientos que llevan a cabo.
- Se apunta a ubicar la planta en la región Metropolitana, idealmente en comunas como Maipú o Puente Alto, puesto que es donde existe una mayor densidad de población con mascotas y por consecuencia hay más probabilidad de encontrar peluquerías caninas para la obtención de la materia prima. [13]
- Se determina el procesamiento de una masa de pelo canino de 73,5 kilogramos al día.
- La obtención de materia prima será a través de convenios con peluquerías caninas para la gestión de sus desechos de pelo canino, por costo cero del servicio de recolección y de materia prima.
- El periodo de producción se contempla por todo el año de lunes a viernes, de 8:00 a 20:00 hrs, exceptuando 2 semanas destinadas a la mantención anual de la planta.

5.1. Exclusiones

El proyecto contempla el diseño del proceso de obtención de queratina a partir de pelo canino mediante hidrólisis enzimática, abarcando desde el diseño y la selección de procesos y de equipos para la producción, hasta la estimación de costos e ingresos del proyecto para un posterior análisis. Sin embargo, existen algunas exclusiones que corresponden a:

- No se consideran los procesos posteriores a la obtención del hidrolizado de queratina, como por ejemplo envasado y distribución. Esto se gestionará a través de terceros.
- La gestión de residuos industriales sólidos y líquidos (RISes y RILes) se destinará a empresas que ofrezcan el servicio de tratamiento de estos.

Capítulo 6

Selección de línea productiva

Para cualquier proceso, el diseño es clave para determinar la eficiencia y el éxito productivo de cualquier actividad. Permite identificar las etapas necesarias para llevar a cabo una tarea específica y establecer los procedimientos adecuados para realizarla. Además, facilita la identificación de problemas potenciales y permite tomar medidas preventivas para evitarlos, generando ahorro de costos y recursos. En cuanto al producto final, el diseño determina la calidad de este y permite establecer estándares para garantizar la mejora continua del proceso.

En primer lugar, se divide el proceso en tres etapas generales para comenzar a diseñar: preparación de materia prima, extracción de queratina y concentración de queratina. La preparación de la materia prima se realiza con el fin de obtener una muestra homogénea y adecuada para la posterior hidrólisis. La extracción de queratina consta netamente del proceso de hidrólisis enzimática para obtener la queratina. Finalmente, la concentración de queratina. Figura 7.1 se representa la línea productiva con el detalle de todas las etapas consideradas.

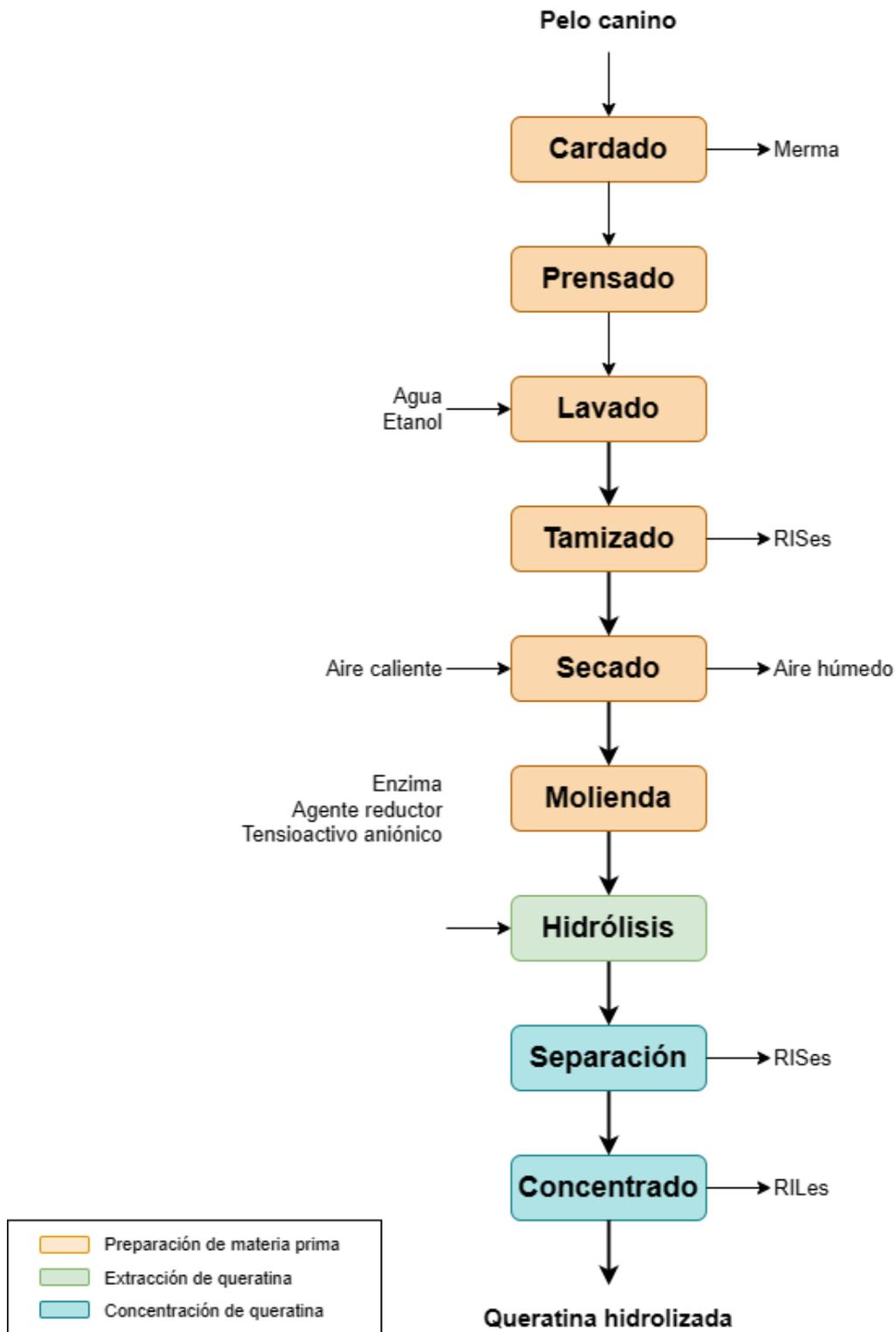


Figura 6.1: Diagrama de bloques del proceso de extracción de queratina a partir de pelo canino. [Creación propia]

6.1. Preparación de materia prima

Para esta primera macroetapa se contemplan procesos como la limpieza y eliminación de impurezas y suciedad, y el corte o molido del pelo, para obtener una mezcla adecuada para el proceso de hidrólisis.

De manera inicial, se comienza realizando cardado y posterior prensado de la fibra de pelo canino. Esta etapa tiene la finalidad de homogeneizar la densidad de la materia, facilitar el dimensionamiento y manejo de la cantidad a procesar, además de permitir un posible almacenamiento en caso de no ser utilizado de forma inmediata. Se define realizar el prensado en forma de láminas o velos, pues facilitaría su manejo y almacenamiento sin afectar en mayor medida los procesos posteriores de lavado y tamizado.

Para el lavado del pelo canino existen opciones de solventes orgánicos como cloroformo o metanol, que pueden ser útiles para extraer lípidos y otros contaminantes [14], sin embargo, estos pueden ser nocivos para el medio ambiente y la salud, lo que sería contraproducente con el objetivo de la propuesta. Una alternativa menos tóxica que el cloroformo es el etanol, que puede ser efectivo para eliminar algunos contaminantes del pelo canino, como la suciedad y las bacterias, además, es más fácil de manejar y se encuentra disponible en una variedad de concentraciones y grados de pureza. En consecuencia, se define que el lavado se realizará con agua y etanol, y para asegurar una limpieza completa de la mezcla basta con utilizar un tanque agitado.

Luego del lavado, con la finalidad de eliminar el exceso de agua del pelo, se contempla una primera etapa de tamizado y luego una etapa de secado. El tamizado busca realizar una separación inicial sólido-líquido, por lo que podría considerarse como una especie de filtrado del pelo. El secado puede hacerse de diferentes maneras, desde dejar al aire libre hasta utilizar un horno, sin embargo, para acelerar este proceso sin dañar las fibras de pelo la mejor alternativa es un secador. Dentro del gran espectro de secadores se selecciona un secador rotatorio, puesto que permite el control de temperaturas en rangos seguros para la materia prima. A partir del secado, se busca que el pelo canino alcance una humedad final de 50 %, a partir del uso de aire caliente a 60°C.

Finalmente, en cuanto a la molienda se descarta el uso de molino de bolas y de martillos, puesto que no son adecuados para materiales fibrosos y podrían generar mucha fricción durante el proceso, lo que aumentaría la temperatura y afectaría al pelo. En consecuencia, se define el uso de un molino de cuchillas que es capaz de procesar una amplia variedad de materiales sin obstruirse y es fácil de mantener y limpiar [15]. Con la molienda se busca alcanzar un tamaño de partícula de 350 μm con el fin de facilitar la posterior extracción de queratina.

6.2. Extracción de queratina

La propuesta de este trabajo es la obtención de queratina a través de hidrólisis enzimática, por lo tanto, la extracción se realiza mediante dicho proceso. La hidrólisis enzimática se puede realizar mediante el uso de bacterias, donde las más utilizadas son la cepa *Bacillus* [9], sin embargo, esto requeriría de procesos de cultivo y mantención previos a la extracción que

impliquen mayor complejidad. Una alternativa que se ha probado con plumas de aves es la utilización de un detergente con contenido de enzimas proteasas llamado Savinase, el cual alcanza un 26 % de hidrolización con una temperatura de incubación de 55°C y pH 8 [16]. Considerando que el pelo canino y las plumas de aves poseen una composición similar de queratina (90 %) [5], se determina el mismo procedimiento para la extracción haciendo uso de un tanque agitado.

6.3. Concentración de queratina

Esta etapa final se realiza para separar el producto de residuos y otros compuestos no deseados, y así aumentar la pureza del hidrolizado. En primer lugar, se requiere eliminar la materia no hidrolizada presente como partículas sólidas en la solución. Para esto se define el uso de un hidrociclón que es utilizado para proceso de separación sólido-fluido.

Como paso final, se requiere concentrar el contenido de queratina, lo cual se podría realizar mediante filtros, aunque requeriría un mayor tiempo de operación. De acuerdo a esto, se prioriza un proceso más rápido mediante el uso de una centrífuga.

Capítulo 7

Balances de masa

A continuación se presentan los balances de masa asociados al proceso de extracción de queratina a partir de pelo canino mediante hidrólisis enzimática. Se detalla cada flujo con su respectiva composición y dimensión. En el Anexo A se presenta un resumen de todos los resultados obtenidos en esta sección.

Como se mencionó en los capítulos anteriores, se procesarán $73,5 \left[\frac{kg}{batch} \right]$ de pelo canino. Además, más adelante se presenta la programación de actividades donde se determina que cada batch tiene una duración aproximada de 12 horas, por lo que se podría hablar de un procesamiento de $73,5 \left[\frac{kg}{día} \right]$ de pelo canino.

El proceso consta de 3 macroetapas principales: preparación de materia prima, extracción de queratina y concentración de queratina. La preparación de materia prima consta de un prensado y posterior lavado inicial del pelo canino con agua y etanol, luego pasa a un tamizado con el fin de extraer el agua de lavado, posteriormente se somete a un proceso de secado y finalmente se muele para disminuir el tamaño de la materia prima y así favorecer las siguientes etapas. El proceso de extracción de queratina corresponde solamente al proceso de hidrólisis enzimática mediante el uso de un detergente con contenido de proteasas. Finalmente, la concentración de queratina consta de un proceso de separación del hidrolizado de queratina y el pelo canino que no se hidrolizó, y luego una centrifugación del hidrolizado con el fin de concentrar aún más la queratina obtenida.

En la Figura 7.1 se presenta el proceso con todas las operaciones unitarias y los flujos de entrada y salida asociados a cada una de estas. El color naranja corresponde a etapas de preparación de la materia prima, el verde a la extracción de queratina y el color azul a la concentración de queratina.

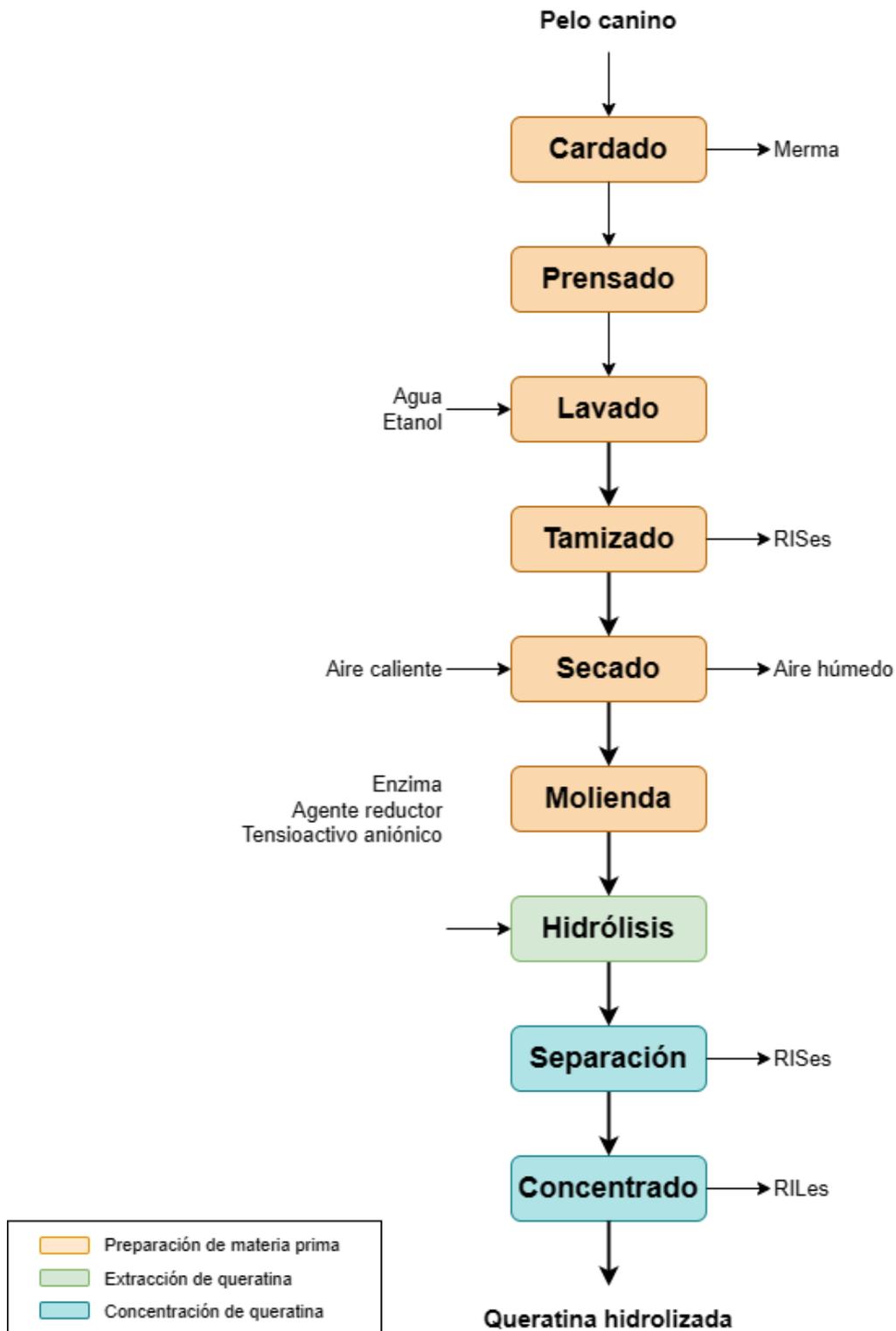


Figura 7.1: Diagrama de bloques del proceso de extracción de queratina a partir de pelo canino. [Creación propia]

7.1. Preparación de materia prima

7.1.1. Cardado

La etapa de cardado tiene el propósito de homogeneizar capas de pelo para posteriormente ser prensado y así poder reducir el volumen de la materia prima. Existe una corriente de alimentación C1 que corresponde a la materia prima, y dos corrientes de salida C2 y C3 que corresponden a velos de pelo canino cardados y la merma, respectivamente. La Figura 7.2 representa el diagrama de bloque de la etapa.



Figura 7.2: Diagrama de bloque - Etapa de cardado. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1: Datos utilizados en balance de masa en etapa de cardado.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Pelo canino (C1)	73,5	[kg/batch]	[Calculado]
Merma	5 %	-	[19]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se tiene un 5 % aproximadamente de pérdidas de fibras que quedan sueltas en la etapa de cardado. [19]

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = C1 - C2 - C3 \quad (7.1)$$

Según la pérdida se tiene que la masa del velo cardado se puede calcular de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} C2 &= C1 \cdot 0,95 \\ C2 &= 73,5 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,95 \\ C3 &\approx 70 \left[\frac{kg}{batch} \right] \end{aligned}$$

Luego, cantidad de merma puede calcularse como:

$$C3 = C1 - C2$$

$$C3 = (73,5 - 70) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$C3 \approx 3,5 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Finalmente, las corrientes corresponden 100 % a pelo canino por lo que las fracciones másicas de estas serán igual a 1.

Resultado

La Tabla 7.2 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de cardado.

Tabla 7.2: Flujos de entrada y salida de etapa de cardado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	C1: Pelo canino alimentado	73,5	Pelo	1
Salida	C2: Pelo canino cardado	70	Pelo	1
	C3: Merma	3,5	Pelo	1

7.1.2. Prensado

La etapa de prensado se realiza con el fin de disminuir el volumen del pelo canino, puesto que elimina el aire entre fibras mediante el prensado. Se define un prensado sin calor para no dañar o quemar la fibra del pelo. Tiene una entrada C2 que corresponde al velo cardado de pelo canino, y una salida F1 que serán láminas de pelo canino prensado de no más de medio centímetro de grosor. La Figura 7.4 representa el diagrama de bloque de la etapa de prensado.

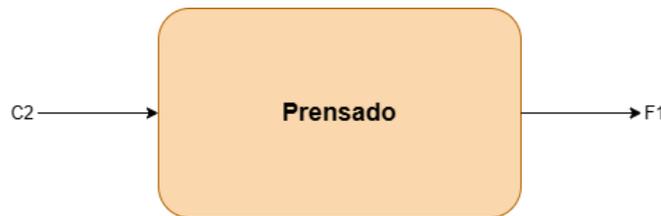


Figura 7.3: Diagrama de bloque - Etapa de prensado. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3: Datos utilizados en balance de masa en etapa de prensado.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Pelo canino cardado (C2)	70	[kg/batch]	[Calculado]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se considera que las láminas prensadas no tienen ninguna restricción de tamaño más que el grosor que se define como máximo 0,5 cm.

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = C2 - F1 \quad (7.2)$$

Luego, al tratarse solo de un cambio físico, la corriente de salida es igual a la de entrada en cuanto a masa y composición:

$$C2 = F1 = 70 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Resultado

La Tabla 7.4 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de cardado.

Tabla 7.4: Flujos de entrada y salida de etapa de prensado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	C2: Pelo canino cardado	70	Pelo	1
Salida	F1: Pelo canino prensado	70	Pelo	1

7.1.3. Lavado

La etapa de lavado se realiza con el fin de remover cualquier tipo de suciedad o grasa que pueda contener la materia prima. Hay 3 corrientes de entrada F1, F2 y F3 que corresponden a pelo canino, agua y etanol respectivamente. La Figura 7.4 representa el diagrama de bloque de la etapa de lavado.



Figura 7.4: Diagrama de bloque - Etapa de lavado. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.5.

Tabla 7.5: Datos utilizados en balance de masa en etapa de lavado.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Pelo canino prensado (F1)	70	[kg/batch]	[Calculado]
Densidad etanol (ρ_{Etanol})	890	[kg/m ³]	[17]
Densidad agua (ρ_{Agua})	997	[kg/m ³]	[18]
Densidad pelo canino (ρ_{Pelo})	1355,72	[kg/m ³]	[19]
Relación líquido/pelo	2	[m ³ /m ³]	[Propio]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se considera una relación 2:1 entre el volumen de cada líquido y el volumen del pelo canino que se alimenta.

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = F1 + F2 + F3 - F4 \quad (7.3)$$

Para obtener la cantidad de agua y etanol necesaria se calcula el volumen de pelo canino que ingresa de la siguiente forma:

$$V_{Pelo} = F1 \cdot \rho_{Pelo}$$

$$V_{Pelo} = \frac{70 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{1355,72 \left[\frac{kg}{m^3} \right]}$$

$$V_{Pelo} = 0,05 \left[\frac{m^3}{batch} \right]$$

Luego, el volumen necesario de agua y etanol corresponde a $0,1 \left[\frac{m^3}{batch} \right]$ y a partir de sus

densidades se puede obtener la masa de cada uno.

$$F2 = V_{Agua} \cdot \rho_{Agua}$$

$$F2 = 0,1 \left[\frac{m^3}{batch} \right] \cdot 997 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$F2 = 102,96 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F3 = V_{Etanol} \cdot \rho_{Etanol}$$

$$F3 = 0,1 \left[\frac{m^3}{batch} \right] \cdot 890 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$F3 = 91,91 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Luego, para calcular la corriente de salida se utiliza la Ecuación 7.3 del balance global:

$$F4 = F1 + F2 + F3$$

$$F4 = (70 + 102,96 + 91,91) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F4 = 264,86 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Finalmente, se calculan las composiciones del flujo de salida de la siguiente forma:

$$x_{F4,Pelo} = \frac{F1}{F4} = \frac{70 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{264,86 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,26$$

$$x_{F4,Agua} = \frac{F2}{F4} = \frac{102,96 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{264,86 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,39$$

$$x_{F4,Etanol} = \frac{F3}{F4} = \frac{91,91 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{264,86 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,35$$

Resultado

La Tabla 7.6 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de lavado.

Tabla 7.6: Flujos de entrada y salida de etapa de lavado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	F1: Pelo canino prensado	70	Pelo	1
	F2: Agua	102,96	Agua	1
	F3: Etanol	91,91	Etanol	1
Salida	F4: Pelo canino mojado	264,86	Pelo	0,26
			Agua	0,39
			Etanol	0,35

7.1.4. Tamizado

Esta etapa tiene el fin de eliminar el agua de lavado que resulta de la etapa anterior. Como alimentación se tiene la corriente F4 proveniente del lavado y en la salida se tienen los flujos F5 Y F6 correspondientes a pelo canino húmedo y RISes, respectivamente.



Figura 7.5: Diagrama de bloque - Etapa de tamizado. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.7.

Tabla 7.7: Datos utilizados en balance de masa en etapa de tamizado.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de entrada (F4)	264,86	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de pelo en la entrada ($F4_{Pelo}$)	70	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de agua en la entrada ($F4_{Agua}$)	102,96	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de etanol en la entrada ($F4_{Etanol}$)	91,91	[kg/batch]	[Calculado]
Humedad final pelo	80	[%]	[20]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se asume como humedad solo el contenido de agua.

- Debido a que el pelo canino y las plumas de aves tienen similares características físicas y químicas, se asume que el pelo absorbe un 80 % de humedad en peso. [20]

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = F4 - F5 - F6 \quad (7.4)$$

En primer lugar, calculamos la cantidad de agua que retendrá el pelo canino luego del tamizado según el supuesto antes mencionado:

$$\begin{aligned} F5_{Agua} &= F4_{Pelo} \cdot 0,8 \\ F5_{Agua} &= 70 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,8 \\ F5_{Agua} &= 56 \left[\frac{kg}{batch} \right] \end{aligned}$$

Luego, todo el contenido de pelo canino que entra se va por la corriente 5, por lo tanto, podemos obtener el flujo total correspondiente de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} F5 &= F4_{Pelo} + F5_{Agua} \\ F5 &= (70 + 56) \left[\frac{kg}{batch} \right] \\ F5 &= 126 \left[\frac{kg}{batch} \right] \end{aligned}$$

Ahora, para calcular el agua que se va con la corriente 6 de RISes, basta con restar a lo que ingresa la cantidad retenida por el pelo:

$$\begin{aligned} F6_{Agua} &= F4_{Agua} - F5_{Agua} \\ F6_{Agua} &= (102,96 - 56) \left[\frac{kg}{batch} \right] \\ F6_{Agua} &= 46,96 \left[\frac{kg}{batch} \right] \end{aligned}$$

Luego, como todo el contenido de etanol sale por la corriente 6, se obtiene el total del flujo:

$$\begin{aligned} F6 &= F4_{Etanol} + F6_{Agua} \\ F6 &= (91,91 + 46,96) \left[\frac{kg}{batch} \right] \\ F6 &= 138,86 \left[\frac{kg}{batch} \right] \end{aligned}$$

Finalmente, se calculan las fracciones másicas de cada corriente de salida:

$$x_{F5_{Pelo}} = \frac{F5_{Pelo}}{F5} = \frac{70 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{126 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,56$$

$$x_{F5_{Agua}} = \frac{F5_{Agua}}{F5} = \frac{56 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{126 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,44$$

$$x_{F6_{Etanol}} = \frac{F6_{Etanol}}{F6} = \frac{91,91 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{138,86 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,66$$

$$x_{F6_{Pelo}} = \frac{F6_{Pelo}}{F6} = \frac{46,96 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{138,86 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,34$$

Resultado

La Tabla 7.8 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de tamizado.

Tabla 7.8: Flujos de entrada y salida de etapa de tamizado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	F4: Pelo canino mojado	264,86	Pelo	0,26
			Agua	0,39
			Etanol	0,35
Salida	F5: Pelo canino húmedo	126	Pelo	0,56
			Agua	0,44
	F6: Agua de lavado	138,86	Etanol	0,66
			Agua	0,34

7.1.5. Secado

La etapa de secado se realiza con el fin de eliminar toda la humedad extra que pueda tener el pelo canino, mediante una corriente de aire caliente a 60°C. Los flujos de entrada F5 y F7 corresponden a pelo canino húmedo y aire caliente, respectivamente. Mientras que, los flujos de salida F8 y F9 son pelo canino seco y aire húmedo, respectivamente.



Figura 7.6: Diagrama de bloque - Etapa de secado. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.9

Tabla 7.9: Datos utilizados en balance de masa de etapa de secado.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de entrada (F5)	126	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de pelo en la entrada ($F5_{Pelo}$)	70	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de agua en la entrada ($F5_{Agua}$)	56	[kg/batch]	[Calculado]
Calor latente agua (Hev_{Agua})	2256500	[J/kg]	[21]
Calor específico pelo canino (Cp_{Pelo})	800	[J/kg·K]	[22]
Calor específico agua (Cp_{Agua})	4180	[J/kg·K]	[21]
Calor específico aire (Cp_{Aire})	1000	[J/kg·K]	[21]
Humedad base seca inicial de Pelo	80 %	[% m/m]	[20]
Humedad base seca final de pelo	50 %	[% m/m]	[Supuesto]
Humedad de entrada del aire	1 %	[% m/m]	[Supuesto]
Temperatura entrada pelo (T5)	25	[°C]	[Supuesto]
Temperatura entrada aire (T7)	60	[°C]	[Supuesto]
NUT	2	-	[21]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se considera el calor específico del pelo canino como el de la queratina, puesto que se compone de un 90 % de ella.
- Se determina que el pelo canino debe salir con un 50 % de humedad.
- Se asume que el pelo ingresa a temperatura ambiente, es decir, 25°C.
- Se considera que el calor de radiación equivale al 8 % del calor de evaporación. [23]
- Se considera que el aire ingresa a 60°C y con 1 % de contenido de humedad.
- Se considera 1 hora de tiempo de residencia.
- Se define un factor de diseño y de utilización de 1,2 y 0,95, respectivamente. [24]

Balance energético

El balance global de energía del proceso viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_{Aire} = Q_{Pelo} + Q_{Agua} + Q_{Evap} + Q_{Rad}$$

En primer lugar, se comienza estimando la temperatura del bulbo húmedo a partir de la carta psicrométrica tal como se ve en la Figura 7.7:

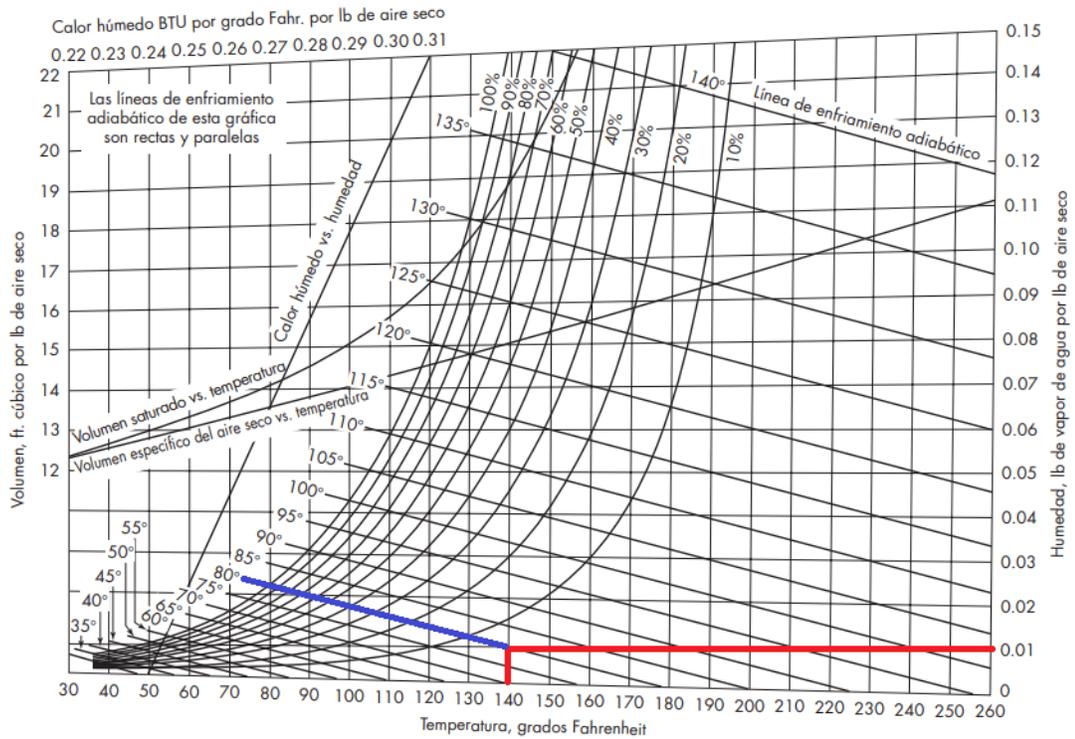


Figura 7.7: Carta psicrométrica. [Editado de [25].]

Con esto, se obtiene la temperatura del bulbo húmedo que se considerará igual a la temperatura que alcanza la corriente 8:

$$T8 = 85^{\circ}F = 29,44^{\circ}C$$

Luego, se estima la temperatura de salida del aire a partir de la ecuación de NUT:

$$NUT = \ln \left(\frac{T7 - T8}{T9 - T8} \right)$$

$$T9 = \exp(-NUT) \cdot (T7 - T8) + T8$$

$$T9 = \exp(-2) \cdot (60 - 29,44)^{\circ}C + 29,44^{\circ}C \Rightarrow T9 = 28,84^{\circ}C$$

Ahora, se calcula el flujo de pelo canino considerando el factor de diseño, de utilización y el tiempo de residencia de la siguiente forma:

$$F5'_{Pelo} = \frac{70 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{0,95} \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{1batch}{1hr} \right) \cdot \left(\frac{1hr}{3600s} \right)$$

$$F5'_{Pelo} = 0,025 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Luego, con esto se calcula el flujo de agua a evaporar:

$$Fg'_{Agua} = 0,025 \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot (0,8 - 0,5)$$

$$Fg'_{Agua} = 0,007 \left[\frac{kg}{s} \right]$$

Una vez obtenidas las temperaturas y los flujos necesarios, se procede a calcular cada uno de los calores involucrados en el proceso:

- Calor absorbido por el pelo:

$$Q_{Pelo} = F5'_{Pelo} \cdot Cp_{Pelo} \cdot (T8 - T5)$$

$$Q_{Pelo} = 0,025 \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot 800 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] \cdot (29,44 - 25)^{\circ}C$$

$$Q_{Pelo} = 87,24 [W]$$

- Calor absorbido por el agua:

$$Q_{Agua} = F5'_{Pelo} \cdot 0,8 \cdot Cp_{Agua} \cdot (T8 - T5)$$

$$Q_{Agua} = 0,025 \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot 0,8 \cdot 4180 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] \cdot (29,44 - 25)^{\circ}C$$

$$Q_{Agua} = 364,67 [W]$$

- Calor de evaporación:

$$Q_{Evap} = Fg'_{Agua} \cdot Hev_{Agua}$$

$$Q_{Evap} = 0,007 \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot 2256500 \left[\frac{J}{kg} \right]$$

$$Q_{Evap} = 16626,84 [W]$$

- Calor de radiación:

$$Q_{Rad} = Q_{Evap} \cdot 0,08$$

$$Q_{Rad} = 16626,84 [W] \cdot 0,08$$

$$Q_{Rad} = 1330,15 [W]$$

- Calor cedido por el aire:

$$\begin{aligned}
Q_{Aire} &= Q_{Pelo} + Q_{Agua} + Q_{Evap} + Q_{Rad} \\
Q_{Aire} &= (87,24 + 364,67 + 16626,84 + 1330,15) [W] \\
Q_{Aire} &= 18408,90 [W]
\end{aligned}$$

Con el balance energético listo, se puede dar paso al balance másico de la etapa.

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = F5 + F7 - F8 - F9 \quad (7.5)$$

Primero se calcula la cantidad de aire requerida para el secado a partir del calor necesario que debe ceder de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
Q_{Aire} &= F7_{Aire} \cdot Cp_{Aire} \cdot (T7 - T9) \\
F7_{Aire} &= \frac{Q_{Aire}}{Cp_{Aire} \cdot (T7 - T9)} \\
F7_{Aire} &= \frac{18408,90 [W]}{1000 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right] \cdot (60 - 28,84)^{\circ C}} \\
F7_{Aire} &= 0,59 \left[\frac{kg}{s} \right] \cdot \left(\frac{3600s}{1batch} \right) \\
F7_{Aire} &= 2126,77 \left[\frac{kg}{batch} \right]
\end{aligned}$$

Luego, se calcula la cantidad de agua que tiene el aire a la entrada:

$$\begin{aligned}
F7_{Agua} &= 2126,77 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,01 \\
F7_{Agua} &= 21,27 \left[\frac{kg}{batch} \right]
\end{aligned}$$

Con esto se obtiene el flujo total de alimentación de la corriente 7:

$$\begin{aligned}
F7 &= F7_{Aire} + F7_{Agua} \\
F7 &= (2126,77 + 21,27) \left[\frac{kg}{batch} \right] \\
F7 &= 2148,04 \left[\frac{kg}{batch} \right]
\end{aligned}$$

Luego, se calcula la cantidad de agua que sale por cada una de las corrientes de salida de

la siguiente forma:

$$F8_{Agua} = F5_{Pelo} \cdot 0,5$$

$$F8_{Agua} = 70 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,5$$

$$F8_{Agua} = 35 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F9_{Agua} = F5_{Agua} + F7_{Agua} - F8_{Agua}$$

$$F9_{Agua} = (56 + 21,27 - 35) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F9_{Agua} = 42,27 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Considerando que todo el pelo canino que ingresa sale por la corriente 8 y todo el aire que ingresa sale por la corriente 9, se tienen los flujos de salida:

$$F8 = F8_{Pelo} + F8_{Agua}$$

$$F8 = (70 + 35) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F8 = 105 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F9 = F9_{Aire} + F9_{Agua}$$

$$F9 = (2126,77 + 42,27) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F9 = 2169,04 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Finalmente, se calculan las fracciones másicas de las corrientes de salida:

$$x_{F8,Pelo} = \frac{F8_{Pelo}}{F8} = \frac{70 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{105 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,67$$

$$x_{F8,Agua} = \frac{F8_{Agua}}{F8} = \frac{35 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{105 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,33$$

$$x_{F9,Aire} = \frac{F9_{Aire}}{F9} = \frac{2126,77 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{2169,04 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,98$$

$$x_{F9,Agua} = \frac{F9_{Agua}}{F9} = \frac{42,27 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{2169,04 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,02$$

Resultado

La Tabla 7.10 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de secado.

Tabla 7.10: Flujos de entrada y salida de etapa de secado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	F5: Pelo canino húmedo	126	Pelo	0,56
			Agua	0,44
	F7: Aire seco	2148,04	Aire	0,99
			Agua	0,01
Salida	F8: Pelo canino seco	105	Pelo	0,67
			Agua	0,33
	F9: Aire húmedo	2169,04	Aire	0,98
			Agua	0,02

Además, la Tabla 7.11 presenta las temperaturas de cada corriente en la etapa de lavado.

Tabla 7.11: Temperaturas de flujos en la etapa de secado.

Corrientes		Temperatura [°C]
Entrada	F5: Pelo canino húmedo	25
	F7: Aire seco	60
Salida	F8: Pelo canino seco	29,44
	F9: Aire húmedo	28,84

7.1.6. Molienda

La etapa de molienda busca disminuir el tamaño del pelo canino con el fin de facilitar el proceso posterior de hidrólisis. Se tiene un flujo de entrada F8 de pelo canino seco y un flujo de salida F10 de pelo canino molido. Al tratarse de un cambio netamente físico no existen cambios en las composiciones del flujo.



Figura 7.8: Diagrama de bloque - Etapa de molienda. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.12.

Tabla 7.12: Datos utilizados en balance de masa de etapa de tamizado.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de entrada (F8)	105	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de pelo en la entrada ($F8_{Pelo}$)	70	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de agua en la entrada ($F8_{Agua}$)	35	[kg/batch]	[Calculado]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- No existe acumulación, generación ni consumo de ninguna especie, solo se trata de un cambio físico.

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = F8 - F10 \quad (7.6)$$

A partir del balance global se obtiene el flujo de salida, además, las composiciones se mantienen, por lo tanto, se tienen los siguientes valores:

$$F10 = F8 = 105 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$x_{F10,Pelo} = x_{F8,Pelo} = 0,67$$

$$x_{F10,Agua} = x_{F8,Agua} = 0,33$$

Resultado

La Tabla 7.13 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de molienda.

Tabla 7.13: Flujos de entrada y salida de etapa de tamizado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	F8: Pelo canino seco	105	Pelo	0,67
			Agua	0,33
Salida	F10: Pelo canino molido	105	Pelo	0,67
			Agua	0,33

7.2. Extracción de queratina

7.2.1. Hidrólisis

En esta etapa es donde se realiza el rompimiento de la fibra para la extracción de queratina hidrolizada. Se utiliza un detergente que contiene enzimas proteasas las que se encargan de realizar la hidrólisis. Como flujos de entrada se tienen las corrientes F10, F11, F12 Y F13 que corresponden a pelo canino molido, detergente Savinase 2,6 % [16] (proteasa), un agente reductor (hidrogenosulfito de sodio 8,6 g/L [16]) y un tensioactivo aniónico (dodecilsulfato de sodio 1 g/L [16]), respectivamente. En cuanto a la salida solo se tiene una corriente F14 con presencia de hidrolizado de queratina, restos de pelo no hidrolizado, otros aminoácidos, detergente y las demás sustancias. La hidrólisis se realiza bajo una temperatura de incubación de 55°C y pH 8 [16], pues según estudios con estas condiciones se alcanza el máximo rendimiento.

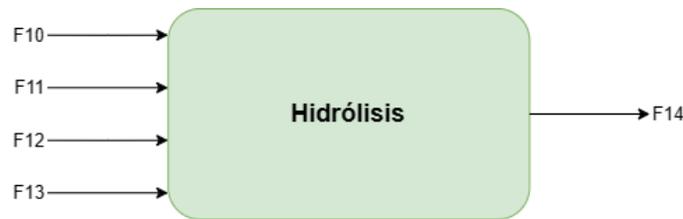


Figura 7.9: Diagrama de bloque - Etapa de hidrólisis. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.14.

Tabla 7.14: Datos utilizados en balance de masa en etapa de hidrólisis.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de entrada (F10)	105	[kg/batch]	[Calculado]
Flujomásico de pelo en la entrada ($F10_{Pelo}$)	70	[kg/batch]	[Calculado]
Flujomásico de agua en la entrada ($F10_{Agua}$)	35	[kg/batch]	[Calculado]
Relación líquido/fibra	0,0025	[m^3/kg]	[16]
Composición queratina en pelo	90 %	%	[5]
Rendimiento	26 %	%	[16]
Densidad agua (ρ_{Agua})	997	[kg/m^3]	[18]
Densidad agente Savinase ($\rho_{Savinase}$)	997	[kg/m^3]	[Supuesto]
Densidad agente reductor (ρ_{AR})	997	[kg/m^3]	[Supuesto]
Densidad tensioactivo (ρ_{TA})	997	[kg/m^3]	[Supuesto]
Densidad queratina ($\rho_{Queratina}$)	1320	[kg/m^3]	[26]
Densidad AA (ρ_{AA})	800	[kg/m^3]	[27]
Densidad pelo canino (ρ_{Pelo})	1355,72	[kg/m^3]	[19]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se consideran las densidades del detergente, agente reductor y tensioactivo iguales a la densidad del agua debido a que se componen en gran cantidad por ella.
- Se utiliza una relación de líquido total : fibra de $0,0025m^3:1kg$. [16]
- Debido a la similitud entre el pelo canino y las plumas de aves, se toma el mismo rendimiento obtenido con estas últimas (26 %). [16]

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = F10 + F11 + F12 + F13 - F14 \quad (7.7)$$

En primer lugar, se calcula el volumen de líquido que se debe alimentar según la relación antes mencionada. Se considera que cada una de las sustancias equivale a un tercio del líquido total.

$$V_{líquidos} = 0,0025 \left[\frac{m^3}{kg} \right] \cdot F10_{Pelo}$$
$$V_{líquidos} = 0,0025 \left[\frac{m^3}{kg} \right] \cdot 70 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$
$$V_{líquidos} = 0,175 \left[\frac{m^3}{batch} \right]$$

Luego, considerando que todos se consideran con la densidad del agua y tienen el mismo volumen, se obtienen los flujos másicos:

$$F11 = F12 = F13 = \frac{V_{líquidos}}{3} \cdot \rho$$
$$F11 = F12 = F13 = \frac{0,175 \left[\frac{m^3}{batch} \right]}{3} \cdot 997 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$
$$F11 = F12 = F13 = 58,16 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Luego, considerando el rendimiento y la composición de queratina del pelo, se puede calcular la cantidad de hidrolizado de queratina y de otros aminoácidos:

$$F14_{HidrolizadoTotal} = F10_{Pelo} \cdot 0,26$$
$$F14_{HidrolizadoTotal} = 70 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,26$$
$$F14_{HidrolizadoTotal} = 18,2 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F14_{Queratina} = F14_{HidrolizadoTotal} \cdot 0,9$$

$$F14_{Queratina} = 18,2 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,9$$

$$F14_{Queratina} = 16,38 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F14_{AA} = F14_{HidrolizadoTotal} \cdot 0,1$$

$$F14_{AA} = 18,2 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,1$$

$$F14_{AA} = 1,82 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Ahora, se calcula la masa de pelo que no se hidrolizó:

$$F14_{Pelo} = F10_{Pelo} \cdot (1 - 0,26)$$

$$F14_{Pelo} = 70 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,74$$

$$F14_{Pelo} = 51,8 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Con todos los flujos ya conocidos, considerando que no hay pérdida de ninguno de los líquidos que se alimentan, se puede obtener el flujo total de salida:

$$F14 = F14_{Queratina} + F14_{Savinase} + F14_{AR} + F14_{TA} + F14_{Agua} + F14_{AA} + F14_{Pelo}$$

$$F14 = (16,38 + 58,16 + 58,16 + 58,16 + 35 + 1,82 + 51,8) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F14 = 279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Finalmente, se calculan las fracciones másicas de salida:

$$x_{F14,Queratina} = \frac{F14_{Queratina}}{F14} = \frac{16,38 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,059$$

$$x_{F14,Savinase} = \frac{F14_{Savinase}}{F14} = \frac{58,16 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,208$$

$$x_{F14,AR} = \frac{F14_{AR}}{F14} = \frac{58,16 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,208$$

$$x_{F14,TA} = \frac{F14_{TA}}{F14} = \frac{58,16 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,208$$

$$x_{F14,Agua} = \frac{F14_{Agua}}{F14} = \frac{35 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,125$$

$$x_{F14,AA} = \frac{F14_{AA}}{F14} = \frac{1,82 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,007$$

$$x_{F14,Pelo} = \frac{F14_{Pelo}}{F14} = \frac{51,8 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,185$$

Resultado

La Tabla 7.15 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de hidrólisis.

Tabla 7.15: Flujos de entrada y salida de etapa de hidrólisis.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	F10: Pelo canino molido	105	Pelo	0,67
			Agua	0,33
	F11: Savinase 2,6 %	58,158	Savinase 2,6 %	1
	F12: Agente reductor	58,158	Agente reductor	1
	F13: Tensioactivo aniónico	58,158	Tensioactivo aniónico	1
Salida	F14: Solución de hidrólisis	279,475	Queratina	0,059
			Savinase 2,6 %	0,208
			Agente reductor	0,208
			Tensioactivo aniónico	0,208
			Agua	0,125
			Aminoácidos	0,007
	No hidrolizado	0,185		

7.3. Concentración de queratina

7.3.1. Separación

En esta etapa se busca separar el pelo no hidrolizado de la queratina hidrolizada en su totalidad. Como flujo de entrada F14 se tiene la corriente que sale del proceso de hidrólisis. En la salida se tienen las corrientes F15 Y F16 que corresponden a un flujo líquido que contiene la queratina hidrolizada y un flujo de RISEs que contiene al pelo canino restante, respectivamente.



Figura 7.10: Diagrama de bloque - Etapa de separación. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.16.

Tabla 7.16: Datos utilizados en balance de masa en etapa de separación.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de entrada (F14)	279,48	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de queratina en la entrada ($F14_{Queratina}$)	16,38	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de detergente en la entrada ($F14_{Savinase}$)	58,16	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de agente reductor en la entrada ($F14_{AR}$)	58,16	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de tensioactivo aniónico en la entrada ($F14_{TA}$)	58,16	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de agua en la entrada ($F14_{Agua}$)	35	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de aminoácidos en la entrada ($F14_{AA}$)	1,82	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de pelo no hidrolizado en la entrada ($F14_{Pelo}$)	51,80	[kg/batch]	[Calculado]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se considera un 100% de eficiencia en cuanto a la separación del pelo canino no hidrolizado de la queratina hidrolizada.
- Se asume que el pelo que no se hidrolizó retuvo toda la cantidad de agua disponible.

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = F14 - F15 - F16 \quad (7.8)$$

En primer lugar, se considerarán los líquidos como un todo, por lo que se calcula la masa total de estos que salen por la corriente 15:

$$F15_{Líquidos} = F14_{Savinase} + F14_{AR} + F14_{TA}$$

$$F15_{Líquidos} = (58,16 + 58,16 + 58,16) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F15_{Líquidos} = 174,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Ahora, se calcula la corriente total 15 considerando que todos los líquidos, la queratina hidrolizada y los aminoácidos que ingresan por la corriente 14 salen por este flujo:

$$F15 = F15_{Líquidos} + F14_{Queratina} + F14_{AA}$$

$$F15 = (174,48 + 16,38 + 1,82) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F15 = 192,68 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

De igual forma, se calcula la corriente 16 por donde sale todo el pelo canino no hidrolizado y el agua que ingresan a la etapa:

$$F16 = F14_{Pelo} + F14_{Agua}$$

$$F16 = (51,8 + 35) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F16 = 86,8 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Finalmente, se calculan las fracciones másicas de las corrientes de salida:

$$x_{F15,Líquidos} = \frac{F15_{Líquidos}}{F15} = \frac{174,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{192,68 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,90$$

$$x_{F15,Queratina} = \frac{F15_{Queratina}}{F15} = \frac{16,38 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{192,68 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,09$$

$$x_{F15,AA} = \frac{F15_{AA}}{F15} = \frac{1,82 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{192,68 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,01$$

$$x_{F16,Pelo} = \frac{F16_{Pelo}}{F16} = \frac{51,8 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{86,8 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,6$$

$$x_{F16,Agua} = \frac{F16_{Agua}}{F16} = \frac{35 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{86,8 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,4$$

Resultado

La Tabla 7.17 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de separación.

Tabla 7.17: Flujos de entrada y salida de etapa de separación.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	F14: Solución de hidrólisis	279,48	Queratina	0,06
			Savinase 2,6 %	0,21
			Agente reductor	0,21
			Tensioactivo aniónico	0,21
			Agua	0,13
			Aminoácidos	0,01
			No hidrolizado	0,19
Salida	F15: Queratina hidrolizada diluída	192,68	Líquidos	0,91
			Queratina	0,09
			Aminoácidos	0,01
	F16: Pelo no hidrolizado	86,80	No hidrolizado	0,60
			Agua	0,40

7.3.2. Concentrado

La etapa de concentrado tiene como finalidad eliminar la mayor cantidad de sustancias que no sean queratina, la separación se realizará a través de una centrífuga de discos. En la entrada se tiene el flujo F15 que se compone de queratina hidrolizada, aminoácidos y líquidos. En la salida se tienen las corrientes F17 y F18 que corresponden al sedimento de queratina y al sobrenadante de RILes, respectivamente.



Figura 7.11: Diagrama de bloque - Etapa de concentrado. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización de los balances de masa de la etapa se utilizan los datos presentados en la Tabla 7.18.

Tabla 7.18: Datos utilizados en balance de masa en etapa de concentrado.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de entrada (F15)	192,68	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de queratina en la entrada (F15 _{Queratina})	16,38	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de líquidos en la entrada (F15 _{Líquidos})	174,48	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo de aminoácidos en la entrada (F15 _{AA})	1,82	[kg/batch]	[Calculado]
Tamaño de partícula de queratina ($d_{Queratina}$)	$6,48 \cdot 10^{-7}$	[m]	[28]
Tamaño de partícula de aminoácidos (d_{AA})	$1,11 \cdot 10^{-7}$	[m]	[28]
d_{50}	$1,30 \cdot 10^{-7}$	[m]	[Supuesto]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se considera una humedad del sedimento del 25 %.
- Considerando el tamaño de las partículas de aminoácidos se fija un tamaño de partícula d_{50} igual a $0,13 \mu m$ para el cálculo de eficiencia.

Balance másico

El balance global del sistema viene dado por la siguiente ecuación:

$$0 = F15 - F17 - F18 \quad (7.9)$$

Se comienza calculando la eficiencia de separación que tendrá el equipo con respecto a los aminoácidos a partir de ecuación de Rosin-Rammler:

$$Eficiencia(AA) = 1 - \exp\left(-0,865 \cdot \left(\frac{d_{AA}}{d_{50}}\right)^{2,08}\right)$$

$$Eficiencia(AA) = 1 - \exp\left(-0,865 \cdot \left(\frac{1,11 \cdot 10^{-7}[m]}{1,30 \cdot 10^{-7}[m]}\right)^{2,08}\right)$$

$$Eficiencia(AA) = 0,464 = 46,4\%$$

Con esto, ya se puede calcular la cantidad de aminoácidos que se irán por cada una de las corrientes:

$$F17_{AA} = F15_{AA} \cdot 0,464$$

$$F17_{AA} = 1,82 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot 0,464$$

$$F17_{AA} = 0,84 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F18_{AA} = F15_{AA} \cdot (1 - 0,464)$$

$$F18_{AA} = 1,82 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot (1 - 0,464)$$

$$F18_{AA} = 0,98 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Ahora, con los datos de la queratina se calcula la eficiencia de separación respecto a esta:

$$Eficiencia(Queratina) = 1 - \exp \left(-0,865 \cdot \left(\frac{d_{Queratina}}{d_{50}} \right)^{2,08} \right)$$

$$Eficiencia(Queratina) = 1 - \exp \left(-0,865 \cdot \left(\frac{6,48 \cdot 10^{-7}[m]}{1,30 \cdot 10^{-7}[m]} \right)^{2,08} \right)$$

$$Eficiencia(Queratina) = 1 = 100\%$$

A partir de esto se determina que todo lo que ingresa de queratina sale por la corriente 17 de sedimento. Luego, considerando la humedad que se definió para el sedimento, se puede calcular la cantidad de líquido de la corriente 17:

$$F17_{Líquidos} = (F17_{Queratina} + F17_{AA}) \cdot \frac{0,25}{1 - 0,25}$$

$$F17_{Líquidos} = (16,38 + 0,84) \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot \frac{0,25}{1 - 0,25}$$

$$F17_{Líquidos} = 5,74 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Luego, se obtiene el líquido que sale por la corriente 18 de RILes:

$$F18_{Líquidos} = F15_{Líquidos} - F17_{Líquidos}$$

$$F18_{Líquidos} = (174,48 - 5,74) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F18_{Líquidos} = 168,73 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Con esto, ya se tiene todo lo necesario para calcular el total de ambas corrientes:

$$F17 = F17_{Queratina} + F17_{AA} + F17_{Líquidos}$$

$$F17 = (16,38 + 0,84 + 5,74) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F17 = 22,96 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F18 = F18_{AA} + F18_{Líquidos}$$

$$F18 = (0,98 + 168,73) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F18 = 169,71 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Finalmente, se obtienen las fracciones másicas de cada corriente de salida:

$$x_{F17,Queratina} = \frac{F17_{Queratina}}{F17} = \frac{16,38 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{22,96 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,71$$

$$x_{F17,AA} = \frac{F17_{AA}}{F17} = \frac{0,84 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{22,96 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,04$$

$$x_{F17,Líquidos} = \frac{F17_{Líquidos}}{F17} = \frac{5,74 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{22,96 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,25$$

$$x_{F18,AA} = \frac{F18_{AA}}{F18} = \frac{0,98 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{169,71 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,01$$

$$x_{F18,Líquidos} = \frac{F18_{Líquidos}}{F18} = \frac{168,73 \left[\frac{kg}{batch} \right]}{169,71 \left[\frac{kg}{batch} \right]} = 0,99$$

Resultado

La Tabla 7.19 presenta los resultados del balance de masa de la etapa de concentrado.

Tabla 7.19: Flujos de entrada y salida de etapa de concentrado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Fracción másica
Entrada	F15: Queratina hidrolizada diluída	192,68	Líquidos	0,91
			Queratina	0,09
			Aminoácidos	0,01
Salida	F17: Queratina hidrolizada	22,96	Queratina	0,71
			Aminoácidos	0,04
			Líquidos	0,25
	F18: RILes	169,71	Aminoácidos	0,01
			Líquidos	0,99

Capítulo 8

Dimensionamiento y selección de equipos

En el capítulo a continuación se dimensionarán los equipos correspondientes a cada una de las etapas del proceso productivo. Se determinarán las dimensiones características las que son utilizadas de referencia al momento de cotizar equipos de catálogos. En el Anexo B se presenta el resumen de todos los resultados obtenidos esta sección.

Cabe destacar que las etapas de cardado y prensado no presentan mayores exigencias en cuanto a su operación y su funcionamiento se definirá de forma paralela al resto de las etapas. Por lo anterior, solo se cotizarán equipos por catálogos para las etapas mencionadas y no será necesario ningún tipo de dimensionamiento.

8.1. Preparación de materia prima

8.1.1. Tanque de lavado

Para la etapa de lavado se selecciona un tanque agitado con un agitador de turbina Rushton. Se define un tiempo de operación de 1,5 horas por lote, para garantizar un lavado completo de la materia prima. En la Figura 8.1 se presenta un diagrama del tanque de lavado.

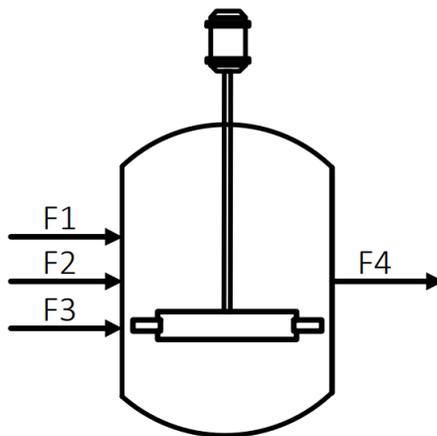


Figura 8.1: Diagrama del tanque de lavado. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización del dimensionamiento del equipo se utilizan los datos presentados en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1: Datos utilizados para el dimensionamiento del tanque de lavado.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Caso base a tratar	70	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo volumétrico de pelo canino (V_{Pelo})	0,05	[m^3 /batch]	[Calculado]
Flujo volumétrico de agua (V_{Agua})	0,10	[m^3 /batch]	[Calculado]
Flujo volumétrico de etanol (V_{Etanol})	0,10	[m^3 /batch]	[Calculado]
Densidad Etanol	890	[kg/m^3]	[17]
Densidad Agua	997	[kg/m^3]	[18]
Densidad Pelo canino	1355,72	[kg/m^3]	[19]
Factor de diseño	1,2	-	[24]
Relación alto/diámetro	1	-	[29]
Relación diámetro equipo/aspas	2	-	[29]
Velocidad de rotación aspas	200	[rpm]	[30]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se define una forma de estanque cilíndrica.
- Se asume una relación 1:1 entre el diámetro del estanque y su altura. [29].
- Se asume una relación 2:1 entre el diámetro del equipo y el diámetro de las aspas [29].
- Para el dimensionamiento se considera un factor de diseño de 1,2 [24].

Dimensionamiento del equipo

Se comienza calculando el volumen total de diseño del equipo:

$$V_{Diseño} = 1,2 \cdot (V_{Pelo}V_{Agua} + V_{Agua})$$
$$V_{Diseño} = 1,2 \cdot (0,05 + 0,10 + 0,10) \left[\frac{m^3}{batch} \right]$$
$$V_{Diseño} = 0,3 \left[\frac{m^3}{batch} \right]$$

Ahora, el volumen de un cilindro se puede expresar en función del diámetro de la siguiente forma:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot D = \frac{\pi \cdot D^3}{4}$$

Despejando el diámetro y despejando se tiene lo siguiente:

$$D_{Estanque} = \left(\frac{4 \cdot V}{\pi} \right)^{1/3}$$
$$D_{Estanque} = \left(\frac{4 \cdot 0,3[m^3]}{\pi} \right)^{1/3}$$
$$D_{Estanque} = 0,73[m]$$

Luego, considerando la relación entre el diámetro del estanque con respecto a la altura y al diámetro de las aspas se tienen las siguientes dimensiones:

$$h_{Estanque} = D_{Estanque} = 0,73[m]$$

$$D_{Aspas} = \frac{D_{estanque}}{2} = 0,37[m]$$

Ahora, se calcula la potencia requerida por las aspas para garantizar una agitación de la mezcla sostenida en el tiempo y homogénea. Para esto se utiliza la ecuación del número de potencia, el cual se obtiene a partir de la Figura 8.2, considerando un flujo turbulento (Reynold del orden de 10^5) y el agitador tipo turbina Rusthon:

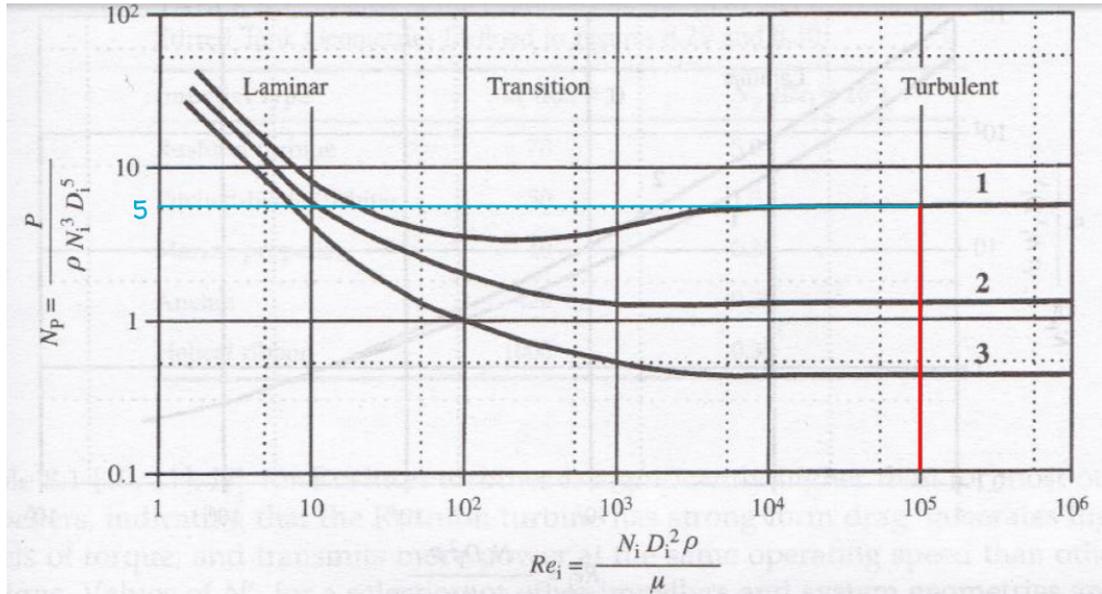


Figura 8.2: Número de potencia vs número de Reynolds para 1: Turbina Rushton, 2: Canalete y 3: Hélice marina. [Editado de [29]]

Ahora a partir de la ecuación del número de potencia se puede despejar la potencia de las aspas:

$$N_p = \frac{P}{\rho \cdot N_i^3 \cdot D_i^5} \quad (8.1)$$

Donde, P es la potencia de agitación, ρ la densidad de la mezcla, N_i la velocidad de agitación y D_i el diámetro de las aspas.

En primer lugar, se calcula la densidad de la mezcla asumiendo conocidos los flujos másicos y fracciones másicas calculadas en el balance de masa de la etapa de lavado:

$$\begin{aligned} \rho &= (\rho_{PeloPelo}) + (\rho_{Agua} + x_{Agua}) + (\rho_{Etanol} \cdot x_{Etanol}) \\ \rho &= \left(1355,72 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,26 \right) + \left(997 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,39 \right) + \left(890 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,35 \right) \\ \rho &= 1054,68 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \end{aligned}$$

Finalmente, con todo conocido, se despeja a partir de la ecuación 8.2 la potencia del agitador:

$$\begin{aligned} P &= N_p \cdot \rho \cdot N_i^3 \cdot D_i^5 \\ P &= 5 \cdot 1054,68 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot \left(\frac{200}{60} [rps] \right)^3 \cdot (0,37[m])^5 \\ P &= 1294,87[W] = 1,29[kW] \end{aligned}$$

Resultados

La Tabla 8.2 presenta los resultados del dimensionamiento del tanque de lavado.

Tabla 8.2: Dimensiones para el tanque de lavado.

Nombre	Valor	Unidad
Volumen total	0,31	[m ³]
Diámetro estanque	0,73	[m]
Altura estanque	0,73	[m]
Diámetro aspás	0,37	[m]
Potencia agitador	1,29	[kW]

8.1.2. Tamiz

El tamiz se utiliza para separar el exceso de líquidos del pelo canino lavado. Se obtiene un flujo de agua con etanol y otro de pelo húmedo. Para dimensionar este equipo basta con definir un número de malla apropiado para garantizar la separación. En la Figura 8.3 se presenta un diagrama del tamiz.

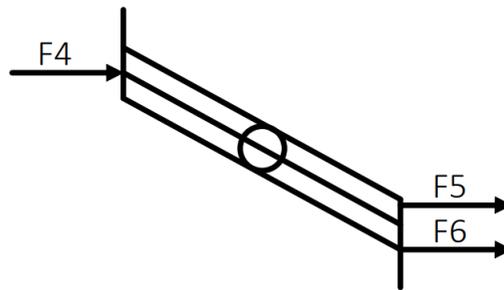


Figura 8.3: Diagrama del tamiz. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización del dimensionamiento del equipo se utilizan los datos presentados en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3: Datos utilizados para el dimensionamiento del tamiz.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de entrada (F8)	105	[kg/batch]	[Calculado]
Largo pelo canino	4,05	[cm]	[19]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se considera el tamaño del pelo canino como el largo promedio de este, que tiene un valor de 4,05 cm aproximadamente. [19]

Dimensionamiento del equipo

Para dimensionar el equipo basta con definir el tamaño de malla del tamiz a utilizar, además de considerar la capacidad de procesamiento. En primer lugar, considerando el tamaño

de partícula del pelo, para asegurar una separación casi completa, se define un tamaño de malla pequeño que no supere los 0,01 cm.

Considerando lo anterior, la cotización por catálogo del tamiz será con base en esta dimensión, además del flujo a tratar.

Resultados

La Tabla 8.4 presenta los resultados del dimensionamiento del Tamiz.

Tabla 8.4: Dimensiones para el tamiz.

Nombre	Valor	Unidad
Tamaño de malla	$\leq 0,01$	[cm]

8.1.3. Secador rotatorio

Para el secado del pelo canino lavado se determina el uso de un secador rotatorio de malla, con un tiempo de residencia del pelo canino de 1 hora. A través de esta etapa de secado el pelo canino pasa de una humedad del 80 % a un 50 %. En la Figura 8.4 se presenta un diagrama del secador rotatorio.

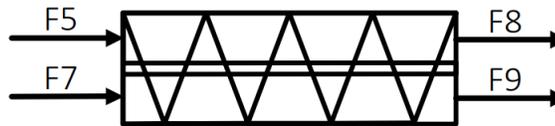


Figura 8.4: Diagrama del secador rotatorio. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización del dimensionamiento del equipo se utilizan los datos presentados en la Tabla 8.5.

Tabla 8.5: Datos utilizados para dimensionamiento del secador rotatorio.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de diseño seco (F_{Seco})	0,025	[kg/s]	[Calculado]
Razón largo/diámetro secador	5	-	[23]
Tiempo de residencia (θ)	1	[hr]	[Supuesto]
Densidad pelo canino (ρ_{Pelo})	1355,72	[kg/m ³]	[19]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se define un tiempo de residencia de 1 hora para asegurar el secado del pelo canino.
- Se define una relación entre el largo y el diámetro del secador de 5 según bibliografía. [23]

Dimensionamiento del equipo

En primer lugar, se calcula el volumen del secador a partir de la ecuación de diseño. Cabe destacar que no se utiliza ningún factor de diseño, puesto que este ya fue considerado al momento de calcular el flujo másico seco en la sección de balances de masa de la etapa correspondiente.

$$V_{Secador} = \frac{\theta \cdot S}{0,075 \cdot \rho_{Pelo}}$$
$$V_{Secador} = \frac{3600[s] \cdot 0,025 \left[\frac{kg}{s} \right]}{0,075 \cdot 1355,72 \left[\frac{kg}{m^3} \right]}$$
$$V_{Secador} = 0,87[m^3]$$

Luego, el volumen de un cilindro se puede expresar y desarrollar de la siguiente forma considerando la relación entre largo y diámetro:

$$V = \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot L$$
$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot 5D$$
$$V = \frac{5}{4} \cdot \pi \cdot D^3$$

Despejando y reemplazando se obtiene el valor del diámetro del secador:

$$D_{Secador} = \left(\frac{4 \cdot V}{5 \cdot \pi} \right)^{1/3}$$
$$D_{Secador} = \left(\frac{4 \cdot 0,87[m^3]}{5 \cdot \pi} \right)^{1/3}$$
$$D_{Secador} = 0,6[m]$$

Finalmente, el largo del secador es:

$$L_{Secador} = 5 \cdot D_{Secador} = 3[m]$$

Resultados

La Tabla 8.6 presenta los resultados del dimensionamiento del secador.

Tabla 8.6: Dimensiones para el secador rotatorio.

Nombre	Valor	Unidad
Volumen secador	0,87	[m ³]
Diámetro secador	0,6	[m]
Largo secador	3	[m]

8.1.4. Molino de cuchillas

Para realizar la disminución del tamaño de las partículas de pelo canino y homogeneización del flujo se determina el uso de un molino de cuchillas. Esto se realiza para facilitar la posterior extracción de queratina en el proceso de hidrólisis. Este proceso corresponde solo a un cambio físico, por lo que no existen diferencias de composición química entre los flujos de entrada y salida. En la Figura 8.5 se presenta un diagrama del molino de cuchillas.

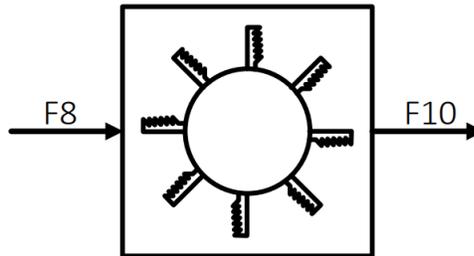


Figura 8.5: Diagrama del molino de cuchillas. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización del dimensionamiento del equipo se utilizan los datos presentados en la Tabla 8.7.

Tabla 8.7: Datos utilizados para dimensionamiento de molino de cuchillas.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo de entrada (F8)	105	[kg/batch]	[Calculado]
Largo inicial pelo (d1)	4,05	[cm]	[19]
Tamaño final pelo (d2)	350	[μm]	[31]
Índice de Bond (Ei)	8	[kW·h/ton]	[32]
Tiempo de operación	1	[hr]	[Supuesto]
Factor de diseño	1,2	-	[24]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se considera el tamaño del pelo canino como el largo promedio de este, que tiene un valor de 4,05 cm aproximadamente. [19]
- Se determina un índice de bond para materiales muy blandos igual a 8 [kW·h/ton]. [32]

Dimensionamiento del equipo

A partir de la ecuación de la Ley de Bond se estima la energía necesaria para la disminución de tamaño de las partículas de pelo canino:

$$E = \sqrt{0,1} \cdot Ei \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d2}} + \frac{1}{\sqrt{d1}} \right)$$
$$E = \sqrt{0,1} \cdot 8 \left[\frac{kW \cdot h}{ton} \right] \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{350}{1000}}[mm]} + \frac{1}{\sqrt{4,05 \cdot 10}[mm]} \right)$$
$$E = 3,88 \left[\frac{kW \cdot h}{ton} \right]$$

Finalmente, a partir de la energía necesaria se calcula la potencia del equipo, considerando el facto de diseño:

$$P = E \cdot F8 \cdot 1,2$$
$$P = 3,88 \left[\frac{kW \cdot h}{ton} \right] \cdot 105 \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot \frac{1[batch]}{1[hr]} \cdot \frac{1[ton]}{1000[kg]}$$
$$P = 0,49 [kW]$$

Resultados

La Tabla 8.8 presenta los resultados del dimensionamiento del molino de cuchillas.

Tabla 8.8: Dimensiones para el molino de cuchillas.

Nombre	Valor	Unidad
Energía de reducción de tamaño	3,88	[kW·h/ton]
Potencia de molino	0,49	[kW]

8.2. Extracción de queratina

8.2.1. Tanque de hidrólisis

Para la etapa de hidrólisis se selecciona un tanque agitado con un agitador de turbina Rushton. Se define un tiempo de operación de 4 horas por lote según bibliografía. En la Figura 8.6 se presenta un diagrama del tanque de hidrólisis.

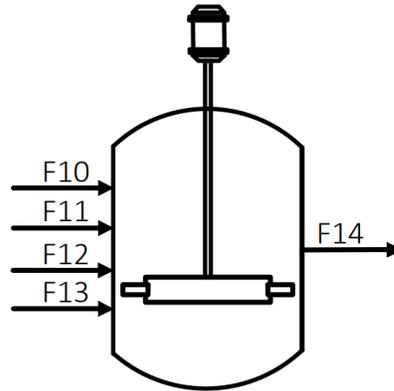


Figura 8.6: Diagrama del tanque de hidrólisis. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización del dimensionamiento del equipo se utilizan los datos presentados en la Tabla 8.9.

Tabla 8.9: Datos utilizados para dimensionamiento del tanque de hidrólisis.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo volumétrico pelo canino molido (V_{Pelo})	0,087	[m^3 /batch]	[Calculado]
Flujo volumétrico detergente ($V_{Savinase}$)	0,058	[m^3 /batch]	[Calculado]
Flujo volumétrico agente reductor (V_{AR})	0,058	[m^3 /batch]	[Calculado]
Flujo volumétrico tensioactivo aniónico (V_{TA})	0,058	[m^3 /batch]	[Calculado]
Densidad Pelo canino (ρ_{Pelo})	1355,72	[kg/m^3]	[19]
Densidad agua (ρ_{Agua})	997	[kg/m^3]	[18]
Factor de diseño	1,2	-	[24]
Relación alto/diámetro	1	-	[29]
Relación diámetro equipo/aspas	2	-	[29]
Velocidad de rotación aspas	200	[rpm]	[16]
Tiempo	4	[hr]	[16]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se define una forma de estanque cilíndrica.

- Se asume una relación 1:1 entre el diámetro del estanque y su altura. [29].
- Se asume una relación 2:1 entre el diámetro del equipo y el diámetro de las aspas [29].
- Para el dimensionamiento se considera un factor de diseño de 1,2 [24].
- Las densidades de los líquidos de entrada de la hidrólisis (detergente, tensioactivo aniónico y agente reductor) se estiman igual a la densidad del agua debido a que se componen en gran parte de ella.

Dimensionamiento del equipo

Se comienza calculando el volumen total de diseño del equipo:

$$V_{Diseño} = 1,2 \cdot (V_{Pelo} V_{Savinase} + V_{AR} + V_{TA})$$

$$V_{Diseño} = 1,2 \cdot (0,087 + 0,058 + 0,058 + 0,058) \left[\frac{m^3}{batch} \right]$$

$$V_{Diseño} = 0,31 \left[\frac{m^3}{batch} \right]$$

Ahora, el volumen de un cilindro se puede expresar en función del diámetro de la siguiente forma:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot D = \frac{\pi \cdot D^3}{4}$$

Despejando el diámetro y despejando se tiene lo siguiente:

$$D_{Estanque} = \left(\frac{4 \cdot V}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$D_{Estanque} = \left(\frac{4 \cdot 0,31[m^3]}{\pi} \right)^{1/3}$$

$$D_{Estanque} = 0,74[m]$$

Luego, considerando la relación entre el diámetro del estanque con respecto a la altura y al diámetro de las aspas se tienen las siguientes dimensiones:

$$h_{Estanque} = D_{Estanque} = 0,74[m]$$

$$D_{Aspas} = \frac{D_{Estanque}}{2} = 0,37[m]$$

Ahora, se calcula la potencia requerida por las aspas para garantizar una agitación de la mezcla sostenida en el tiempo y homogénea. Para esto se utiliza la ecuación del número de potencia, el cual se obtiene a partir de la Figura 8.7, considerando un flujo turbulento (Reynold del orden de 10^5) y el agitador tipo turbina Rusthon:

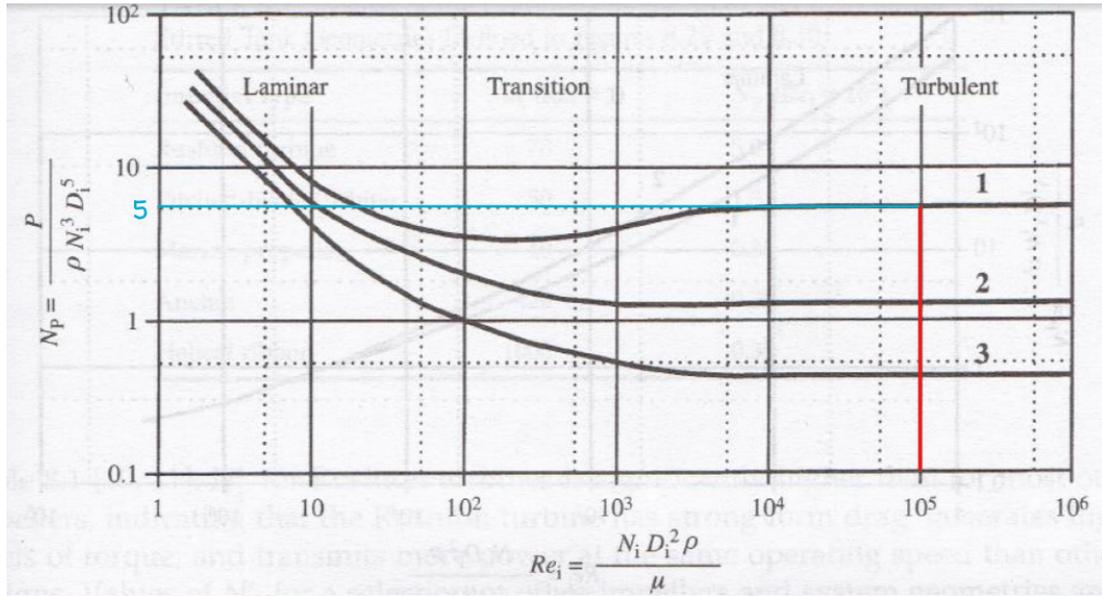


Figura 8.7: Número de potencia vs número de Reynolds para 1: Turbina Rushton, 2: Canaleta y 3: Hélice marina. [Editado de [29]]

Ahora, a partir de la ecuación del número de potencia se puede despejar la potencia de las aspas:

$$Np = \frac{P}{\rho \cdot N_i^3 \cdot D_i^5} \quad (8.2)$$

Donde, P es la potencia de agitación, ρ la densidad de la mezcla, N_i la velocidad de agitación y D_i el diámetro de las aspas.

En primer lugar, se calcula la densidad de la mezcla, asumiendo conocidos los flujos máxicos. Primero calculando el total de masa que ingresa y luego la densidad de la mezcla:

$$F_{Total} = F10 + F11 + F12 + F13$$

$$F_{Total} = (105 + 58,16 + 58,16 + 58,16) \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

$$F_{Total} = 279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]$$

Ahora, considerando las densidades y los flujos máxicos de cada compuesto, se tiene:

$$\rho = \frac{(F10_{Pelo} \cdot \rho_{Pelo}) + (F10_{Agua} \cdot \rho_{Agua}) + (F11 \cdot \rho_{Savinase}) + (F12 \cdot \rho_{AR}) + (F13 \cdot \rho_{TA})}{F_{total}}$$

$$\rho = \frac{(70 \cdot 1355,72 + 35 \cdot 997 + 58,16 \cdot 997 + 58,16 \cdot 997 + 58,16 \cdot 997) \left[\frac{kg}{batch} \right] \cdot \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{279,48 \left[\frac{kg}{batch} \right]}$$

$$\rho = 1086,85 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Finalmente, con todo conocido, se despeja a partir de la ecuación 8.2 la potencia del

agitador:

$$P = Np \cdot \rho \cdot N_i^3 \cdot D_i^5$$
$$P = 5 \cdot 1086,85 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot \left(\frac{200}{60} [rps] \right)^3 \cdot (0,37[m])^5$$
$$P = 1294,87[W] = 1,37[kW]$$

Resultados

La Tabla 8.10 presenta los resultados del dimensionamiento del tanque de hidrólisis.

Tabla 8.10: Dimensiones para el tanque de hidrólisis.

Nombre	Valor	Unidad
Volumen total	0,31	[m ³]
Diámetro estanque	0,74	[m]
Altura estanque	0,74	[m]
Diámetro aspás	0,37	[m]
Potencia agitador	1,37	[kW]

8.3. Concentración de queratina

8.3.1. Hidrociclón

Para la separación del contenido no hidrolizado y la queratina extraída se determina la utilización de un hidrociclón, los que son empleados para separar suspensiones sólido-líquido como lo es en este caso. En la Figura 8.8 se presenta un diagrama del hidrociclón.

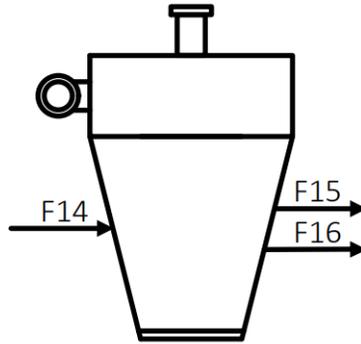


Figura 8.8: Diagrama del hidrociclón. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización del dimensionamiento del equipo se utilizan los datos presentados en la Tabla 8.11.

Tabla 8.11: Datos utilizados para dimensionamiento de hidrociclón.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Volumen diseño	0,31	[m^3 /batch]	[Calculado]
d50	50	[μm]	[33]
Viscosidad (μ)	0,001	[kg/m·s]	[34]
Densidad fluido (ρ_f)	997	[kg/ m^3]	[18]
Densidad sólido (ρ_s)	1355,72	[kg/ m^3]	[19]
Tiempo	10	[min]	[Supuesto]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se define un hidrociclón de tipo Bradley.
- Se considera un tamaño de corte d50 de 50 μm para asegurar la separación total del contenido no hidrolizado (350 μm).
- La viscosidad de la solución se considera igual a la del agua, puesto que los líquidos presentes se componen en gran parte de esta.
- Se determina un tiempo de operación de 10 minutos para así obtener un caudal que garantice la formación de vortex favoreciendo la separación.

Dimensionamiento del equipo

En primer lugar, a partir de la ecuación de diseño de Bradley se puede obtener el diámetro del equipo. Cabe destacar que no se considera factor de diseño, puesto que este se tomó en cuenta al momento de calcular el volumen de diseño en el equipo anterior.

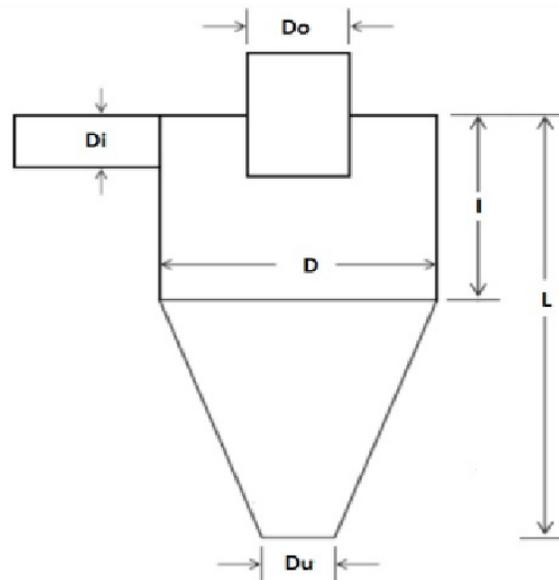
$$\frac{d50}{D} = 17,6 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{\mu \cdot D}{Q \cdot (\rho_s - \rho_f)} \right]^{1/2} \quad (8.3)$$

$$D = \left(\frac{d50 \cdot \sqrt{Q \cdot (\rho_s - \rho_f)}}{17,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\mu}} \right)^{\frac{1}{1,5}}$$

$$D = \left(\frac{50 \cdot 10^{-6} [m] \cdot \sqrt{\frac{0,31 \left[\frac{m^3}{batch} \right]}{600 \left[\frac{s}{batch} \right]} \cdot (1355,72 - 997) \left[\frac{kg}{m^3} \right]}}{17,6 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{0,001 \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]}} \right)^{\frac{1}{1,5}}$$

$$D = 0,115 [m]$$

Luego, a partir del diámetro se pueden obtener las demás dimensiones del equipo según los datos de la Figura 8.9.



Tipo de Ciclón	Di/D	Do/D	Du/D	I/D	L/D	Θ
Bradley	0.133	0.20	0.07	0.33	6.85	9

Figura 8.9: Esquema de dimensiones de un hidrociclón tipo Bradley. [35]

Donde, D_i es el diámetro de alimentación, D_o el diámetro del overflow, D_u el diámetro del underflow, l el largo de vórtice, L el largo del hidrociclón y θ el ángulo de apertura del equipo.

A partir de esto, se tienen las siguientes dimensiones:

$$\begin{aligned} D_i &= 0,133 \cdot D = 0,133 \cdot 0,115 [m] = 0,015 [m] \\ D_o &= 0,2 \cdot D = 0,2 \cdot 0,115 [m] = 0,23 [m] \\ D_u &= 0,07 \cdot D = 0,07 \cdot 0,115 [m] = 0,008 [m] \\ l &= 0,33 \cdot D = 0,33 \cdot 0,115 [m] = 0,038 [m] \\ L &= 6,85 \cdot D = 6,85 \cdot 0,115 [m] = 0,788 [m] \\ \theta &= 9^\circ \end{aligned}$$

Además, se debe calcular la caída de presión que debe tener el equipo al operar. Para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta P = k_p \cdot Re^{n_p} \cdot 0,5 \cdot \rho_f \cdot v_i^2 \quad (8.4)$$

Donde k_p y n_p son parámetros adimensionales que se obtienen por bibliografía y que tienen los valores que se muestran en la Figura 8.10.

Tipo de hidrociclón	k_p	n_p
Bradley	446.5	0.323

Figura 8.10: Parámetros de hidrociclón de tipo Bradley. [35]

Por otro lado, v_i corresponde a la velocidad del flujo que se calcula considerando el caudal y el área de una circunferencia:

$$\begin{aligned} v_i &= \frac{Q}{\hat{A}} = \frac{Q}{\pi \cdot r^2} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \\ v_i &= \frac{4 \cdot \frac{0,31 \left[\frac{m^3}{batch} \right]}{600 \left[\frac{s}{batch} \right]}}{\pi \cdot (0,115 [m])^2} = 0,051 \left[\frac{m}{s} \right] \end{aligned}$$

Luego, Re corresponde al número de Reynolds y se calcula de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho_f \cdot v_i \cdot D}{\mu} \\ Re &= \frac{997 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,051 \left[\frac{m}{s} \right] \cdot 0,115 [m]}{0,001 \left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]} = 5803,68 \end{aligned}$$

Finalmente, reemplazando los valores en la Ecuación 8.4 se tiene lo siguiente:

$$\Delta P = 446,5 \cdot 5803,68^{0,323} \cdot 0,5 \cdot 997 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot \left(0,051 \left[\frac{m}{s} \right] \right)^2$$

$$\Delta P = 9362,91 [Pa]$$

Resultados

La Tabla 8.12 presenta los resultados del dimensionamiento del hidrociclón.

Tabla 8.12: Dimensiones para el hidrociclón.

Nombre	Valor	Unidad
Diámetro	0,115	[m]
D. de alimentación	0,015	[m]
D. overflow	0,023	[m]
D. underflow	0,008	[m]
Largo	0,788	[m]
Largo buscador vórtice	0,038	[m]
Ángulo de apertura	9	[°]
Caída de presión	9362,91	[Pa]

8.3.2. Centrífuga de discos

La concentración final de queratina se realiza a través de una centrífuga de discos. Debido a la magnitud del flujo, esta no requiere tener dimensiones industriales, por lo que se tomarán en cuenta ciertos valores a escala de laboratorio para dimensionar el equipo. Este equipo tiene como finalidad purificar la queratina hidrolizada obtenida, separando la mayor cantidad de aminoácidos restantes que pudieran haber quedado. En la Figura 8.11 se presenta un diagrama de la centrífuga.

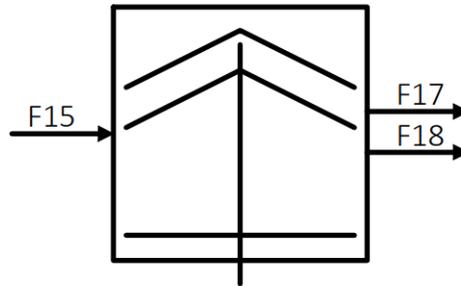


Figura 8.11: Diagrama de la centrífuga. [Creación propia]

Parámetros utilizados

Para la realización del dimensionamiento del equipo se utilizan los datos presentados en la Tabla 8.13.

Tabla 8.13: Datos utilizados para dimensionamiento de la centrífuga de discos.

Nombre	Valor	Unidad	Referencia
Flujo másico de queratina ($F15_{Queratina}$)	16,38	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de líquidos ($F15_{Líquidos}$)	174,48	[kg/batch]	[Calculado]
Flujo másico de aminoácidos ($F15_{AA}$)	1,82	[kg/batch]	[Calculado]
Densidad queratina ($\rho_{Queratina}$)	1320	[kg/m ³]	[26]
Densidad Agua (ρ_{Agua})	997	[kg/m ³]	[18]
Densidad aminoácidos(ρ_{AA})	800	[kg/m ³]	[27]
d50	1,3,E-07	[m]	[Supuesto]
Viscosidad (μ)	0,001	[kg/m·s]	[34]
Gravedad (g)	9,81	[m/s ²]	[Conocido]
Radio escala laboratorio	0,1150	[m]	[36]
Velocidad de rotación escala laboratorio (Ω)	10000	[rpm]	[37]
Relación de radios	0,184	-	[38]
Ángulo discos	40	°	[38]
Nº discos (N_D)	100	[un]	[39]

Supuestos

En cuanto a supuestos se consideró lo siguiente:

- Se fija el tamaño de corte d50 tal que asegure una separación completa de la queratina hidrolizada con un contenido bajo de aminoácidos restantes. En la sección de balance de masa de la etapa de concentrado se calculan las eficiencias respectivas para cada sólido.
- Se utilizan datos iniciales a escala de laboratorio para el dimensionamiento tal como el radio externo [36], velocidad de rotación [37], relación de radios [38], ángulo de discos [38] y el número de discos de la centrífuga [39].
- La viscosidad de la solución se considera igual a la del agua, puesto que los líquidos presentes se componen en gran parte de esta.

Dimensionamiento del equipo

Se comienza calculando el radio interno según la relación definida:

$$r_i = r_e \cdot 0,184 = 0,115[m] \cdot 0,184 = 0,021[m]$$

Luego, las Ecuaciones 8.5, 8.6 y 8.7 representan las ecuaciones de diseño para una centrífuga y determinan la velocidad de sedimentación, el área proyectada de sedimentación y el caudal, respectivamente:

$$v = \frac{(d50)^2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_f)}{18 \cdot \mu} \quad (8.5)$$

$$\Sigma = \frac{2\pi \cdot N_D \cdot \Omega^2 \cdot (r_e^3 - r_i^3) \cdot \cot\theta}{3 \cdot g} \quad (8.6)$$

$$Q = v \cdot \Sigma \quad (8.7)$$

Se parte calculando la velocidad reemplazando los datos conocidos:

$$v = \frac{(1,3 \cdot 10^{-7} [m])^2 \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot (1320 - 997) \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{18 \cdot 0,001 \left[\frac{kg}{ms} \right]}$$

$$v = 2,97 \cdot 10^{-9} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Luego, se calcula el área proyectada de sedimentación:

$$\Sigma = \frac{2\pi \cdot 100 \cdot \left(\frac{1000 \cdot 2\pi}{60} \left[\frac{1}{s} \right] \right)^2 \cdot (0,115^3 - 0,021^3) [m^3] \cdot \cot \left(\frac{40 \cdot 2\pi}{360} [rad] \right)}{3 \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]}$$

$$\Sigma = 42170,91 [m^2]$$

Ahora se obtiene el caudal requerido considerando un factor de diseño de 1,2:

$$Q = 1,2 \cdot 2,97 \cdot 10^{-9} \left[\frac{m}{s} \right] \cdot 42170,91 [m^2] \cdot \frac{3600 [s]}{1 [hr]}$$

$$Q = 0,542 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Finalmente, se necesita conocer el tiempo de operación para tratar el flujo de alimentación. Para esto, se calcula el volumen total a tratar:

$$V_{Total} = F15_{Queratina} \cdot \rho_{Queratina} + F15_{Líquidos} \cdot \rho_{Líquidos} + F15_{AA} \cdot \rho_{AA}$$

$$V_{Total} = (16,38 \cdot 1320 + 174,48 \cdot 997 + 1,82 \cdot 800) [m^3]$$

$$V_{Total} = 0,19 [m^3]$$

Finalmente, se calcula el tiempo de operación:

$$top = \frac{V_{Total}}{Q}$$

$$top = \frac{0,19 [m^3]}{0,542 \left[\frac{m^3}{s} \right]}$$

$$top = 0,34 [hr] = 20 [min]$$

Resultados

La Tabla 8.14 presenta los resultados del dimensionamiento de la centrífuga de discos.

Tabla 8.14: Dimensiones para la centrífuga de discos.

Nombre	Valor	Unidad
d50	1,3,E-07	[m]
Radio externo	0,115	[m]
Radio interno	0,021	[m]
Ángulo discos	40	°
Nº discos	100	[un]
Caudal requerido	0,542	[m ³ /h]
Tiempo de operación	20	[min]

Capítulo 9

Planificación de la operación

De acuerdo a todo lo antes presentado, se realiza la programación de cada una de las etapas del proceso productivo. Se considera una producción por lote, debido a que la mayoría de los equipos tienen un funcionamiento del tipo batch y los que podrían funcionar de forma continua siguen de igual forma una producción batch determinada por los demás equipos.

Se define un tiempo de operación diario de 12 horas, suficiente para realizar una pasada completa por la línea de procesos. El horario de trabajo comienza a las 8:00 hrs y finaliza a las 20:00 hrs.

Para las etapas de cardado y prensado se destina una operación paralela al resto de la producción, con la finalidad de preparar materia prima para el siguiente lote productivo. En el diagrama se dejan disponibles las 12 horas para estas etapas, aunque esto no quiere decir que la duración de estos procesos sea esa, podría ser menor.

Respecto al resto de etapas de preparación del pelo canino, se tiene una duración de casi 7 horas entre todas sus operaciones. En cuanto a la etapa de extracción de queratina, está definida totalmente por la etapa de hidrólisis, la cual tiene una duración de 4 horas. Finalmente, la etapa final de concentración de queratina no supera los 60 minutos de tiempo. Cabe mencionar que se considera un tiempo de 20 minutos para carga y descarga de equipos de funcionamiento por lote.

Considerando todo lo anterior, en la Figura 9.1 se presenta la planificación diaria de la operación completa.

Capítulo 10

Análisis económico

10.1. Costos de inversión

El costo de inversión de una industria, o también llamado CAPEX, corresponde al gasto asociado a todo lo que se requiere para el funcionamiento de la planta. Este costo de inversión es de suma importancia para cualquier empresa, puesto que garantizará el crecimiento que esta tendrá en cierto periodo de tiempo.

El CAPEX abarca desde el costo de los equipos hasta gastos de construcción de terreno, entre otros, clasificándolos como costos directos e indirectos. Cabe destacar que la estimación de estos costos será sobre la base del costo total del CAPEX el cual será calculado respecto al costo de la compra de los equipos, por lo que se dará mayor detalle en esto.

10.1.1. Costos directos

Los costos directos hacen referencia a todo lo que tiene que ver con adquisición de materiales o instalación de la planta. Los considerados en este análisis son los siguientes:

Equipos

Para el cálculo de adquisición de los equipos se realizan cotizaciones a diferentes proveedores para encontrar un equipo que tenga características lo más similares posible a las obtenidas en el dimensionamiento. En el Anexo C.1 se presenta el detalle de los parámetros característicos utilizados como referencia para la selección por catálogo de los equipos del proceso.

El valor de cotización de los equipos no consideran el costo de transporte y embarque, es decir, precios tipo Free on board (FOB). Para la maquinaria proveniente de Chile, no es un problema, sin embargo, para los equipos exportados desde el exterior se debe considerar el costo de transporte a través del precio Cost Insurance and Freight (CIF) el cual es un 10% mayor al precio de cotización o precio FOB [40].

En la Tabla 10.1 se presenta el detalle de los precios de cotización y totales de cada equipo del proceso.

Tabla 10.1: Precios de equipos.

Máquina de cardado	1	Zhengzhou Oski Machinery Co.,Ltd China	1.300	1.560	1.560
Prensa	1	Zhoungyou Heavy Industry Machinery Equipment Co., Ltd. China	1.356	1.627	1.627
Tanque agitado ^a	1	Wenzhou Ace Machinery Co., Ltd. China	2.000	2.400	2.400
Tamiz	1	Agrimaquinas Chile	1.245	1.245	1.245
Secador rotatorio	1	Henan Ocean Machinery Equipment Co., Ltd. China	2.800	3.360	3.360
Molino de cuchillas	1	Magri Ltda. Chile	2.241	2.689	2.689
Hidrociclón	1	Hidroshop Spa Chile	107	107	107
Centrífuga	1	Liaoyang Shenzhou Machinery Equipment Co. Ltd. China	13.500	16.200	16.200
Total [USD]					26.001

^a Este equipo será utilizado para el proceso de lavado y para el de hidrólisis debido a que se requieren tanques de similares dimensiones y con el mismo funcionamiento para ambas etapas.

Finalmente, el costo de los equipos típicamente equivale entre el 15 % y el 40 % del costo total del CAPEX [40]. En este caso, particularmente, al ser una línea de producción con pocos equipos y de tamaño promedio, se define un porcentaje de 25 %, por lo que el valor total del costo de inversión corresponderá a **116.753 [USD]**.

Instalación de equipos

El porcentaje del CAPEX asociado a la instalación de los equipos de la planta suele estar entre 6 % y 14 % [40] y para este caso, como se mencionó antes, debido a que no se requieren demasiados equipos y de gran complejidad, se define el porcentaje de estimación en un 10 %.

Instrumentación y control

Este ítem suele equivaler entre un 2 % y un 8 % del valor total del CAPEX [40]. Particularmente, para garantizar un correcto y continuo funcionamiento de la línea de proceso se espera invertir en este aspecto, por lo que se define el porcentaje de estimación en 5 %.

Piping

El porcentaje de estimación del piping respecto al valor total del CAPEX es entre 3 % y 20 % [40]. Debido a la simplicidad del proceso, se define un porcentaje de estimación de 7 %.

Instalación eléctrica

La instalación eléctrica se estima entre un 2 % y 10 % del valor total del CAPEX [40]. Por la misma razón mencionada antes, se define un porcentaje de 4 %.

Construcciones

La construcción se estima entre 3 % y 18 % del total del CAPEX [40]. Al tratarse de una planta de procesos totalmente nueva, se espera invertir un poco más en este aspecto, aunque no se necesita una construcción compleja, por lo que se define un porcentaje de 10 %.

Instalación de servicios

La instalación de servicios equivale entre 8 % y 20 % del total del CAPEX [40]. Basándonos en el mismo argumento que en construcciones, se define un porcentaje de estimación de 10 %.

Terreno

El terreno se estima entre 1 % y 2 % del total del CAPEX [40]. En este caso, no se requiere un espacio demasiado grande, por lo que se define el mínimo porcentaje, es decir, un 1 %.

En consecuencia, el detalle de los costos directos de inversión abarcan un 72 % del total del CAPEX. En la Tabla 10.2 se presenta el detalle con los valores por ítem.

Tabla 10.2: Detalle de los costos de inversión directos del proceso.

Costos directos	Valor [USD]	Porcentaje del CAPEX
Equipos	29.188	25 %
Instalación de equipos	11.675	10 %
Instrumentación y control	5.838	5 %
Piping	7.280	7 %
Instalación eléctrica	4.670	4 %
Construcciones	11.675	10 %
Instalaciones de servicios	11.675	10 %
Terreno	1.168	1 %
Total	84.062	72 %

10.1.2. Costos indirectos

Los costos indirectos hacen referencia a lo que no se relaciona directamente a materias e instalación, sino más bien a administración, contingencia, entre otros. Los considerados para este análisis son los siguientes:

Ingeniería y supervisión

Este ítem suele equivaler entre un 4 % y 21 % del total del CAPEX [40]. En este caso, al tratarse de una puesta en marcha de una planta desde cero, para garantizar una buena calidad de la gestión se define un porcentaje de 15 %.

Gastos de construcción

Los gastos asociados a construcción van desde un 4 % a un 16 % del total del CAPEX [40]. Como se mencionó antes, no se requiere una construcción grande y ni compleja, por lo que se define solo un 6 % de porcentaje de estimación.

Honorarios de contratistas

Respecto a contratistas, se estima entre 2 % y 6 % del valor del CAPEX [40]. En este caso se define el porcentaje mínimo del 2 %.

Contingencia

El costo de contingencia se estima entre 5 % y 15 % del valor del CAPEX [40]. Para este caso particular, no se considera un mayor riesgo por contingencia asociado al mercado de las peluquerías por ejemplo, es por eso que se define solo un 5 % de porcentaje de estimación.

En consecuencia, el detalle de los costos de indirectos de inversión abarcan un 28 % del total del CAPEX. En la Tabla 10.3 se presenta el detalle de los valores por ítem.

Tabla 10.3: Detalles de los costos de inversión indirectos del proceso.

Costos indirectos	Valor [USD]	Porcentaje del CAPEX
Ingeniería y supervisión	17.513	15 %
Gastos de construcción	7.005	6 %
Honorarios de contratistas	2.335	2 %
Contingencia	5.838	5 %
Total	32.691	28 %

10.1.3. Total

Finalmente, el costo total de inversión se puede resumir según lo presentado en la Tabla 10.4.

Tabla 10.4: Total de costos de inversión.

Costos	Valor [USD]	Porcentaje del CAPEX
Directos	84.062	72 %
Indirectos	32.691	28 %
Total CAPEX	116.753	100 %

10.2. Costos de capital de trabajo

Los gastos de capital de trabajo hacen referencia a los costos de abastecimiento requeridos para dar inicio a la producción. Suele utilizarse para tener cierto inventario de productos o suministros antes de poner en marcha la empresa. Las industrias químicas suelen estimar este costo entre un 10 % y 20 % del costo total de inversión, incluso puede llevar a un 50 % si se trata de una empresa con funcionamiento estacionario, puesto que requieren de un mayor

inventario de seguridad. En este análisis particular, se utiliza un porcentaje de 20 %, ya que al tratarse de un diseño desde cero se debe asegurar un buen funcionamiento inicial. En consecuencia, el costo total del capital de trabajo corresponde a **23.351 [USD]**.

10.3. Costos de operación

Los costos de operación también son denominados como OPEX, y corresponde a todos los gastos asociados a la operación de la planta. El OPEX considera costos fijos y costos variables según como se explica a continuación.

10.3.1. Costos fijos

Los costos fijos son independientes a la producción, por lo que su valor debe ser constante respecto a esta. Los costos fijos considerados son la mano de obra y gastos generales.

Mano de obra

La mano de obra y su valor dependerán de la cantidad de personal que requiera la planta para su correcto funcionamiento. En este caso se considerarán 12 meses de trabajo de lunes a viernes desde las 8:00 hrs hasta las 20:00 hrs con 2 turnos de trabajo de 8 horas. Al tratarse de una planta piloto con un proceso productivo por lote, no requiere de una gran cantidad de personal, por lo que se considera lo siguiente: 1 gerente de operación, 1 ingeniero de procesos, 2 operadores de producción y 2 personales de mantención. Cabe mencionar, que se considera 1 operador y 1 personal de mantención por turno, coincidiendo ambos turnos por 2 horas durante la operación de la planta. Mientras que, el gerente y el ingeniero solo abarcan un turno laboral en planta.

Los sueldos fueron definidos según una base de datos con información salarial en Chile obtenida de Wage Indicator [41].

Según lo antes mencionado, la Tabla 10.5 presenta el costo de mano de obra anual.

Tabla 10.5: Costo de mano de obra.

Cargo	Costo laboral anual [CLP/persona]	Cantidad	Total anual [USD]
Gerencia	\$35.020.776	1	\$43.604
Ingeniero de procesos	\$14.462.772	1	\$18.007
Operadores	\$6.000.000	2	\$14.941
Personal de mantención	\$4.920.000	2	\$12.252
Total [USD]			\$88.804

Gastos generales

En cuanto a los gastos generales, estos abarcan todo lo que tiene que ver con los servicios de administración, los cuales se estiman a partir del costo de mano de obra y equivalen entre un 20 % y 30 % de estos [40]. En este caso en particular, debido a que el proceso es pequeño, no se requieren gestiones complejas, se estiman como el 20 % del costo de mano de obra presentado anteriormente, dando un valor total de **17.761 [USD]**.

A modo de resumen, la Tabla 10.6 presenta el total de los costos fijos de operación.

Tabla 10.6: Total de costos fijos de operación.

Costos fijos	Valor [USD/año]
Mano de obra	88.804
Gastos generales	17.761
Total	106.564

10.3.2. Costos variables

Los costos variables corresponden a todos los gastos que dependen directamente de la operación y su funcionamiento. Estos costos abarca todos los gastos de consumibles, insumos y mantención.

Consumibles y reactivos

Para calcular el costo de todas las materias requeridas en el proceso se cotizaron los precios de mercado. Cabe destacar que para el cálculo de consumo anual se consideran 2 semanas sin funcionamiento destinadas a una mantención de planta anual, por lo tanto, solo hay 50 semanas de operación efectiva anual. A continuación, la Tabla 10.7 presenta el detalle de los costos de consumibles y reactivos.

Tabla 10.7: Detalles de costos de consumibles y reactivos del proceso.

Producto	Consumo anual		Precio		Proveedor	Costo total anual [USD]
Pelo canino	17500	[kg]	0	[USD/kg]	-	0
Etanol	25,82	[m ³]	2.490	[USD/m ³]	Oregon Chem Group Chile	64.271
Savinase (Enzima)	378,03	[kg]	85	[USD/kg]	Novozymes Group Dinamarca	32.132
Hidrogenosulfito de sodio (Agente reductor)	125,42	[kg]	2	[USD/kg]	Oregon Chem Group Chile	197
Dodecilsulfato de sodio (Tensioactivo aniónico)	14,58	[kg]	13	[USD/kg]	Oregon Chem Group Chile	196
Total [USD]						96.796

Insumos

En cuanto a insumos básicos, se considera el consumo de agua potable y electricidad total del proceso. En cuanto a electricidad, se consideró el requerimiento energético de cada equipo según su catálogo (Ver Anexo C.3). Respecto al consumo de agua, este abarca la cantidad utilizada en la etapa de lavado y en la de hidrólisis, para la preparación del detergente enzimático, agente reductor y tensioactivo aniónico (Ver Anexo C.2).

La tarifa de electricidad utilizada fue el promedio para negocio en Chile del año 2022 reportado por Global Petrol Price [42] que corresponde a 0,13 [USD/kWh]. En cuanto al valor del consumo de agua potable, se utilizó el promedio de las tarifas reportadas por Aguas Andinas [43] que equivale a 1,675 [USD] por metro cúbico.

A modo de resumen, la Tabla 10.8 presenta el costo anual de insumos básicos de la operación.

Tabla 10.8: Resumen de costo del consumo anual de insumos básicos de la operación.

Insumo	Consumo anual		Precio		Costo anual [USD]
Electricidad	24.486,67	[kWh]	0,13	[USD/kWh]	3.183
Agua potable	69,57	[m ³]	1,675	[USD/m ³]	117
Total [USD]					3.300

Mantenición

Corresponden a los gastos asociados a la mantención y reparación de los equipos y se estima que equivale entre el 2% y 20% del valor total de los equipos según la complejidad de la planta y/o el proceso. En este caso, cada uno de los equipos y etapas de la línea es fundamental para el funcionamiento continuo del proceso, por lo que se estimarán los costos de mantención como el 20% del costo de equipos [40], obteniéndose así un costo de **5.838 [USD]**.

A modo de resumen, la Tabla 10.9 presenta el total de los costos variables de operación.

Tabla 10.9: Total de costos variables de operación.

Costos variables	Valor [USD/año]
Consumibles y reactivos	96.796
Insumos	3.300
Mantenición	5.838
Total	105.934

10.3.3. Total

Finalmente, el total de los costos de operación u OPEX se presenta en la Tabla 10.10 a continuación.

Tabla 10.10: Total de costos de operación.

Costos	Valor [USD/año]
Fijos	106.564
Variables	105.934
Total	212.498

10.4. Ingresos

Los ingresos están totalmente determinados por la venta del producto final del proceso, es decir, el hidrolizado de queratina obtenido. Para fijar un precio de venta se toman como referencia los siguientes datos cotizados en el mercado:

Tabla 10.11: Precios de hidrolizado de queratina en mercado.

Marca	Precio [USD/kg]	Pureza
AMULYN	45	90 %
Ly Health	65	85 %
Haibo	43	99 %
Herbasea	50	98 %

Para poder tener un punto de comparación, se calcula un precio ponderado según la siguiente ecuación:

$$Precio^* = \frac{Precio}{Pureza} \quad (10.1)$$

Así se tienen los siguientes valores:

Tabla 10.12: Precios ponderados de hidrolizado de queratina.

Marca	Precio* [USD/kg]
AMULYN	46
Ly Health	76
Haibo	43
Herbasea	51
Promedio	54

Considerando lo anterior, se toma el promedio de los precios ponderados y partir de esto se calcula el precio final de venta añadiendo un 10 % de costo de envío al cliente y se incorpora la pureza obtenida del hidrolizado producido:

$$Precio = 1,1 \cdot 54 \frac{USD}{kg} \cdot 71 \% = 42,17 \frac{USD}{kg}$$

En consecuencia de lo anterior, se define el precio de venta en **42 [USD] por kilogramo de hidrolizado**.

Finalmente, en la Tabla 10.13 se presenta el total de ingresos anuales asociados a la venta del hidrolizado de queratina producido.

Tabla 10.13: Ingresos anuales por ventas.

Producción diaria	Producción anual	Precio de venta	Ingresos anuales
22,96 [kg]	5.741,2 [kg]	42 [USD/kg]	241.130 [USD]

10.5. Flujo de caja

Teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, se realiza el flujo de caja del proyecto con un horizonte de proyección de 10 años. Además de considerar todos los costos expuestos antes, también se incluyen aspectos tributarios como impuestos y depreciaciones de los activos.

En cuanto a impuestos, se considera la tasa del Impuesto al Valor Agregado (IVA) para la inversión, que equivale a un 19% del total de esta según el artículo 14 de la Ley sobre Impuesto a las Ventas y Servicios [44]. Además, se considera el Impuesto a la Renta de Primera Categoría que corresponde a un 27% según el Servicio de Impuestos Internos [45]. Finalmente, respecto a las depreciaciones de los equipos adquiridos, se presenta el detalle en el Anexo C.4.

El flujo de caja del proyecto diseñado se presenta en la Figura 10.14 a continuación.

Tabla 10.14: Flujo de caja del proyecto.

Factores	AÑO											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
(+) Ingresos por ventas	-	241.130	241.130	241.130	241.130	241.130	241.130	241.130	241.130	241.130	241.130	241.130
(-) OPEX	-	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498
(+/-) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.684
(-) Depreciaciones	-	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077
(-) Pérdidas ejercicio anterior	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(=) Utilidad antes de Impuesto	0	26.555	26.555	26.555	26.555	26.555	26.555	26.555	26.555	26.555	26.555	28.239
(-) Impuesto (27%)	-	-7.170	-7.170	-7.170	-7.170	-7.170	-7.170	-7.170	-7.170	-7.170	-7.170	-7.624
(=) Utilidad después de Impuesto	0	19.385	19.385	19.385	19.385	19.385	19.385	19.385	19.385	19.385	19.385	20.614
(+) Depreciaciones	-	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077
(-/+) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.684
(+) Pérdida ejercicio anterior	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(=) Flujo de caja Operacional	0	21.462	21.008									
(-) Inversiones (CAPEX)	-116.753	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) IVA de la inversión	-22.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del IVA de la inversión	-	22.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(+) Valor Residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.102
(-) Capital de trabajo	-23.351	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del Capital de Trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.351
(=) Flujo de Capitales	-162.287	22.183	0	33.452								
Flujo de caja Neto	-162.287	43.645	21.462	54.460								
VAN ANUAL	-162.287	38.969	17.110	15.276	13.640	12.178	10.873	9.708	8.668	7.740	7.740	17.535
VAN (USD)	-10.589											
TIR	10,36 %											
Payback	6,0											

10.5.1. Indicadores

Los indicadores económicos son herramientas utilizadas para medir y evaluar la situación económica de un país, una región o una empresa. Estos indicadores proporcionan información clave sobre el desempeño económico, la actividad empresarial y la salud financiera en general y permiten tomar decisiones de inversión [46]. Los más utilizados para evaluar la factibilidad de un proyecto son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Retorno de la Inversión (Payback).

El VAN corresponde al valor presente de los flujos futuros de un proyecto. Si el valor de este es positivo significa que el proyecto es rentable, pues los flujos futuros son mayores al costo de inversión, en cambio, si el VAN es negativo el proyecto podría no ser rentable y se recomienda no invertir en él [47]. En este caso, se utiliza una tasa de descuento del 12%. La TIR corresponde a la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a 0, es decir, es la tasa de crecimiento que se espera obtener para un proyecto. Mientras más alto sea este valor, mayor será la rentabilidad [47]. El payback viene siendo el tiempo que se tardará en recuperar la inversión inicial. Este indicador puede no resultar apto para tomar decisiones por sí solo, puesto que no considera el valor del dinero en el tiempo ni los flujos de los periodos posteriores a la recuperación. [48]

Como se puede ver en el flujo de caja presentado en la Tabla 10.14, a pesar de tener ganancias desde el primer año, no es suficiente para obtener un VAN neto positivo (-10.589 USD), por lo que se podría considerar que no es muy rentable invertir. Sin embargo, se obtiene un valor de TIR positivo (10,36%) y un retorno de la inversión al 6to año del proyecto, por lo que se podría considerar que existe un grado de rentabilidad económica considerando el diseño estudiado y que posiblemente se podría mejorar algún aspecto que genere mayor rentabilidad económica.

Por otro lado, con el fin de analizar el efecto del precio de venta, se realiza un nuevo flujo de caja ajustando el precio a uno menor (39 USD por kilogramo), presentado en la Figura 10.15. En este caso, se obtiene un VAN neto aún más negativo y que nos indicaría que esta opción es menos favorable que la anterior. Adicionalmente, se obtuvo un TIR cercano menor a 0% lo que sostiene la nula rentabilidad del proceso. Finalmente, en cuanto al payback, se tiene que no se obtiene un retorno de la inversión inicial dentro del horizonte de 10 años evaluados. Con este escenario, se podría considerar que el precio mínimo que se podría fijar podría ser de 40 USD por kilogramo de queratina hidrolizada, puesto que para valores menores el proyecto se vuelve indudablemente no rentable.

Tabla 10.15: Flujo de caja del proyecto con precio de venta de 39 USD/kg.

Factores	AÑO											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
(+) Ingresos por ventas	-	223.907	223.907	223.907	223.907	223.907	223.907	223.907	223.907	223.907	223.907	223.907
(-) OPEX	-	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498	-212.498
(+/-) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.684
(-) Depreciaciones	-	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077	-2.077
(-) Pérdidas ejercicio anterior	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(=) Utilidad antes de Impuesto	0	9.332	9.332	9.332	9.332	9.332	9.332	9.332	9.332	9.332	9.332	11.015
(-) Impuesto (27%)	-	-2.520	-2.520	-2.520	-2.520	-2.520	-2.520	-2.520	-2.520	-2.520	-2.520	-2.974
(=) Utilidad después de Impuesto	0	6.812	6.812	6.812	6.812	6.812	6.812	6.812	6.812	6.812	6.812	8.041
(+) Depreciaciones	-	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077	2.077
(-/+) Ganancias/pérdidas de Capital	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.684
(+) Pérdida ejercicio anterior	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(=) Flujo de caja Operacional	0	8.889	8.889	8.889	8.889	8.889	8.889	8.889	8.889	8.889	8.889	8.434
(-) Inversiones (CAPEX)	-116.753	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) IVA de la inversión	-22.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del IVA de la inversión	-	22.183	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(+) Valor Residual de los activos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.102
(-) Capital de trabajo	-23.351	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(+) Recuperación del Capital de Trabajo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.351
(=) Flujo de Capitales	-162.287	22.183	0	33.452								
Flujo de caja Neto	-162.287	31.072	8.889	41.887								
VAN ANUAL	-162.287	27.743	7.086	6.327	5.649	5.044	4.503	4.021	3.590	3.205	2.819	13.486
VAN (USD)	-81.631											
TIR	-1,98 %											
Payback	11,3											

Capítulo 11

Discusión y Conclusiones

11.1. Discusiones

La finalidad de esta sección es discutir sobre diversos puntos relacionados con el diseño del proceso de obtención de queratina a partir de pelo canino mediante hidrólisis enzimática.

En primer lugar, en cuanto a los antecedentes, no hay datos específicos sobre la cantidad de peluquerías caninas en Chile, además, debido a la falta de regularización sobre los residuos de estas, se dificulta la obtención de información precisa sobre la cantidad de pelo canino desechado. A raíz de esto, se hace necesario tomar ciertos supuestos y estimaciones que podrían alterar los resultados del estudio.

Respecto al comercio de queratina hidrolizada en Chile, es difícil encontrar información de libre acceso sobre la producción y precios, por lo que la estimación de ingresos tuvo que ser realizada con datos de productos extranjeros y podría no ser acertada con los datos del mercado chileno. Sin información clara sobre los precios, la calidad de los productos y las empresas que compiten en este mercado, es difícil para las nuevas empresas diseñar estrategias efectivas para competir en igualdad de condiciones. Sin embargo, esto también podría significar que no hay una alta producción en Chile, por lo que sería viable ingresar a este mercado sin tantas restricciones.

Refiriéndose a la elección de hidrólisis enzimática como proceso de hidrolización de la materia prima, se puede decir que esta cumple con los dos objetivos principales del criterio de diseño: generar un proceso medioambientalmente sustentable y que entregue un producto de buena calidad. Sin embargo, no se obtiene una pureza que entre a competir con las del mercado (71 % vs +90 %). Es posible incrementar este valor mediante la adición de una etapa extra de centrifugación y/o una ultrafiltración, sin embargo, es necesario realizar una evaluación de costo v/s aumento de pureza para determinar la rentabilidad de incorporar una nueva etapa en el proceso.

Por otro lado, en cuanto al rendimiento del proceso total, solo se tiene un 26 % de hidrolizado respecto a la cantidad procesada, lo cual podría aumentar si se considerara una recirculación a la etapa de hidrólisis del flujo de pelo canino no hidrolizado. Además, eventualmente, se podrían realizar pruebas de eficiencia con diferentes detergentes enzimáticos para encontrar el que maximice el rendimiento.

Realizando un análisis a los costos incurridos durante el proceso, se destaca al etanol como aquel que implica el mayor costo de operación, con más de un 65 % del total de los costos consumibles. Tomando en cuenta que las peluquerías caninas tienen como estándar bañar al perro previo al corte de pelo (a diferencia de las veterinarias, que cortan pelo para procedimientos clínicos sin previo lavado), hay posibilidad de que la etapa de lavado diseñada pueda ser menos exigente, usando agua y algún detergente concentrado más económico. Para asegurarse de lo anterior, sería necesario realizar estudios fisicoquímicos a muestras de pelo canino provenientes de peluquerías para determinar el tipo y cantidad de impurezas que poseen y así seleccionar los compuestos más aptos para su limpieza.

Adicionalmente, es posible reducir el costo de inversión adoptando estrategias de entrada a la producción industrial más asequibles, como arrendar los equipos a bajo costo, comprar equipos usados de industrias análogas o externalizar algún proceso en una maquiladora.

En cuanto a la mano de obra, esta abarca más del 80 % de los costos fijos de operación anuales aproximadamente. Sin embargo, no es recomendado disminuir costos en este aspecto, puesto que es fundamental tener una buena gestión y administración del proceso para garantizar la calidad y el éxito de este. Una manera de compensar estos gastos mediante los ingresos podría ser aumentando la capacidad de producción de la planta a través de la implementación de nuevos turnos productivos y/o adaptar la estrategia productiva a una producción continua. Sin embargo, esto implicaría un aumento en la cantidad de insumos y materia prima requeridos, lo que puede poner una sobrecarga en el servicio de recolección de pelos caninos. Para contrarrestar esto, se podría escalar el servicio de recolección de pelos caninos y así abarcar una mayor cantidad de peluquerías. Y en el caso de que la oferta de materia prima no sea suficiente, se podría evaluar la posibilidad de incorporar otro tipo de materia prima parecida en la operación, como pelos humanos o lana de oveja.

11.2. Conclusiones

A partir del presente trabajo, se desarrolló el estudio y diseño del proceso de obtención de queratina a partir de pelo canino, mediante hidrólisis enzimática. Se fijaron bases de diseño para posteriormente seleccionar y dimensionar las etapas del proceso productivo, además de realizar la evaluación de la factibilidad del proceso a través de un análisis económico y técnico. Esto fortifica los grandes esfuerzos que está haciendo hoy en día la humanidad para explorar nuevas estrategias de gestión de residuos conscientes y amigables con el medioambiente.

Respecto a los antecedentes, se requiere de un estudio con mayor profundidad en cuanto a las peluquerías caninas y el impacto de sus desechos en Chile, con el fin de aportar más información al trabajo realizado. Así mismo, para garantizar un plan estratégico de calidad, hace falta mayor información en cuanto a la competencia del mercado de queratina en Chile.

A pesar de lo anterior, gracias al amplio uso de la queratina en diversas industrias, se determina que es posible encontrar un espacio de comercialización en el mercado chileno; por otro lado, en cuanto a la materia prima, la región metropolitana cuenta con una amplia industria de cuidado de mascotas, lo que permitiría un aumento de recolección de pelo canino sin problemas.

En cuanto al proceso de obtención de queratina seleccionado, la hidrólisis enzimática, se elige como el proceso de hidrólisis más sustentable ambientalmente, aunque dado su alto costo operacional, la rentabilidad es altamente dependiente del precio de venta que se fije. Al analizar los flujos del proyecto con un precio de venta competitivo de 42 USD/kg se obtiene un retorno de la inversión al 6to año y aunque no hay ganancias para un horizonte de 10 años. Además, se obtuvo que el precio de venta no debería ser inferior a 40 USD/kg, puesto que el proyecto se vuelve no rentable desde ese punto.

En cuanto a la pureza del producto, esta está por debajo de la ofrecida en el mercado, aunque se podría mejorar añadiendo algún reciclado o más procesos de purificación. Los gastos adicionales que se tendrían podrían ser compensados con un mayor precio de venta y así mantener o aumentar la rentabilidad económica del proyecto.

En conclusión, adaptando una estrategia económica debida es posible generar un proyecto rentable en el tiempo con la propuesta diseñada en este trabajo.

11.3. Recomendaciones

En primer lugar, con la finalidad de mejorar la solidificación del marco conceptual del trabajo, es importante seguir trabajando en la recolección de datos y en la regulación de la actividad de las peluquerías caninas en Chile. Además, esto ayudaría a tener un mejor control sobre los residuos generados y garantizar que las empresas operen de manera responsable y sostenible desde el punto de vista ambiental.

Sumado a lo anterior, se propone realizar pruebas de laboratorio que permitan validar el rendimiento obtenido a partir del diseño. Incluso, se podría realizar un estudio de diferentes detergentes enzimáticos para determinar el que maximiza el rendimiento.

Finalmente, para futuros diseños se tienen dos principales recomendaciones: evaluar la incorporación de un reciclaje al proceso de hidrólisis del contenido no hidrolizado con el fin de aumentar el rendimiento e incorporar una etapa extra de purificación final para aumentar la calidad del producto de queratina hidrolizada.

Bibliografía

- [1] Cadem. (2022). Zoom a la tenencia de mascotas. Cadem. Recuperado el 25 de junio de 2022, de <https://cadem.cl/estudios/chile-que-viene-marzo-2022-mascotas/#:%7E:text=De%20acuerdo%20al%20sondeo%2C%20el,a%202%2C7%20en%202022>
- [2] Zárate, D. (2022). Estudio de perros y gatos en Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado el 25 de junio de 2022, de <https://www.uc.cl/noticias/veterinaria-uc-existen-12-millones-de-perros-y-gatos-con-duenos-en-chile-y-4-millones-sin-ellos/>.
- [3] Santander, J. & Duchén, E. (2017). Obtención de microfibras de Queratina por hidrólisis no térmica, a partir de residuos del faenado de la subespecie Gallus Gallus Domesticus (Gallina Domestica) (Disertación doctoral).
- [4] Ministerio de Salud Pública. (2021). Decreto 725. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. BCN. Recuperado el 25 de junio de 2022, de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=5595&idVersion=2021-10-28&idParte=>.
- [5] Angamarca Cuasqui, G. N. (2017). Investigación y desarrollo de un no tejido a partir del enfieltramiento de algodón con pelos caninos y su aplicación en sombreros para damas (Tesis de licenciatura). Recuperado el 26 de junio de 2022, de <https://core.ac.uk/download/pdf/200327138.pdf>.
- [6] Chicaiza Junta, V. J. (2018). Género textil a partir del pelaje canino (Tesis de licenciatura). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Diseño, Artes y Arquitectura. Carrera de Diseño de Modas)
- [7] Almaraz, J. (2022). Crean una fibra textil con pelo de perro. Publimetro México. Recuperado el 26 de junio de 2022, de <https://www.publimetro.com.mx/mx/noticias/2010/09/09/crean-una-fibra-textil-con-pelo-de-perro.html>
- [8] Iglesias, L. G. (2020). Una empresa alemana crea lana procedente de pelo de perros. Vinos y caminos. Recuperado el 26 de junio de 2022, de <https://www.vinosycaminos.com/texto-diario/mostrar/2141278/empresa-alemana-crea-lana-procedente-pelo-perros>.
- [9] Chaitanya Reddy, C., Khilji, I. A., Gupta, A., Bhuyar, P., Mahmood, S., Saeed AL-Japairai, K. A., & Chua, G. K. (2021). Valorization of keratin waste biomass and its potential applications. Journal of Water Process Engineering, 40, 101707. doi:10.1016/j.jwpe.2020.101707
- [10] DIQBM. (2021). Estudiantes U. de Chile producen bioplástico a partir de queratina obtenida de plumas de aves. Noticias Innovación sustentable. Recuperado el 20 de abril de 2023, de <https://www.uchile.cl/noticias/183831/estudiantes-producen-bioplastico-a-partir-de-plumas-de-aves>

- [11] Our Science - Keraplast. <https://www.keraplast.com/our-science>
- [12] Worn Again Technologies. <https://wornagain.co.uk/>
- [13] Bocanegra Cubides, J. L. (2021). Análisis de factibilidad estratégica, técnica y económica para crear una compañía Mobile Pet Grooming en el sector oriente de Santiago de Chile (Tesis de magister). Universidad de Chile.
- [14] Sánchez, I., Rosales, A., García, A. & Valadez, A. (2019). Extraction of keratin from chicken feather waste for the development of keratin-based biocomposites. Structural properties, synthesis and applications.
- [15] Pezzin, S., Da Silva, E. & Bresolin, T. (2015). Keratinous arterial grinding for use in keratin-polymer composites.
- [16] Eslahi, N., Dadashian, F., Nejad, N. H. (2013). AN INVESTIGATION ON KERATIN EXTRACTION FROM WOOL AND FEATHER WASTE BY ENZYMATIC HYDROLYSIS. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 43(7), 624-648. doi:10.1080/10826068.2013.763826
- [17] PanReac AppliChem. (s.f.). Etanol 70 % alcohol etílico. Recuperado el 05 de octubre de 2023, de <https://itwreagents.com/iberia/es/product/192695/192695>.
- [18] Robert., H. P. (1997). *Perry's chemical engineers' handbook*. Séptima edición, McGraw-Hill. 1226p.
- [19] Enríquez, L. (2022). Caracterización de un no tejido enfieltrado utilizando pelo de perro (french poodle) (Tesis de licenciatura).
- [20] Núñez, W. (2013). Determinación del método para la obtención de queratina cosmética a partir de plumas gallináceas. Recuperado el 05 de octubre de 2023, de <http://www.dspeace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1088/1/T-UCPE-0008-10.pdf>
- [21] Cengel, Y. A. (1999). *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*. Tercera edición, McGraw Hill.
- [22] Picard, K., Thomas, D. W., Festa-Bianchet, M., Belleville, F., & Laneville, A. (1999). Differences in the thermal conductance of tropical and temperate bovid horns. *Écoscience*, 6(2), 148-158. doi:10.1080/11956860.1999.11682515
- [23] Sper, J. & Torres, I. (2009). *Diseño de una Planta Deshidratadora de Banano usando Secador Rotatorio*, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- [24] Universidad de Granada. (1985). *Diseño de reactores y tanques de almacenamiento*. Recuperado el 09 de octubre de 2022, de https://www.ugr.es/~aulavirtualpfciq/descargas/documentos/Disenio_Tanques_Almacenamiento.pdf.
- [25] Cengel, Y. & Boles, M. (1985). *Secado de sólidos. Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Séptima edición, McGraw Hill.
- [26] Huggins, M. L. (1957). The structure of alpha keratin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 43(2), 204-209. doi:10.1073/pnas.43.2.204
- [27] Reddy, N. & Yang, Y. (2007). Structure and properties of chicken feather barbs as natural protein fibers. *Journal of Polymer Environment*, 15, 81-87. doi: 10.1007/s10924-007-0054-7

- [28] Berechet, M., Gaidau, C., Niculescu, M. & Stanca, M. (2018). The influence of alkaline hydrolysis of wool by-products on the characteristics of keratin hydrolysates. In International Conference on Advanced Materials and Systems (ICAMS) (pp. 39-44). The National Research Development Institute for Textiles and Leather-INCOTEX.
- [29] Doran, P. M. (1995). Bioprocess engineering principles. Segunda edición, Elsevier.
- [30] Gonzáles Larios, E. (2017). Influencia de la concentración de hidróxido de sodio y temperatura en la extracción de α queratina del residuo Pelo de inversiones Harod S.A.C. Cientifi-K, 5(1), 43-46. <https://doi.org/10.18050/Cientifi-k.v5n1a5.2017>
- [31] Tesfaye T., Sithole, Bishop B. & Ramjugernath D. (2018). Preparation, characterization and application of keratin based green biofilms from waste chicken feathers. <https://researchspace.csir.co.za/dspace/handle/10204/10599>
- [32] D'Emmanuele Ares, C., Accoroni, C., Ferigutti, L., Godoy, E., & Reinheimer, M. A. (2017). Análisis de la molienda de expeller de soja evaluando la performance de diferentes tipos de molinos. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 16(1), 275-284. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/620/62052087008.pdf>
- [33] Steinert, P. M., Marekov, L. N., Fraser, R. D. B., & Parry, D. A. D. (1993). Keratin Intermediate Filament Structure. Journal of Molecular Biology, 230(2), 436-452. doi:10.1006/jmbi.1993.1161
- [34] Universidad Nacional de Cuyo. (2012). Mecánica de los fluidos. Compilado de tablas. Recuperado el 05 de octubre de 2022, de <http://ingenieria.uncuyo.edu.ar/catedras/tablas-mdf2012.pdf>
- [35] Castilho, L. R., & Medronho, R. A. (2000). A simple procedure for design and performance prediction of Bradley and Rietema hydrocyclones. Minerals Engineering, 13(2), 183-191. doi:10.1016/s0892-6875(99)00164-8
- [36] Eppendorf. (2019). Centrifuge 5804/5804r centrifuge 5810/5810r (Manual de operación). Recuperado de <https://www.eppendorf.com/product-media/doc/en/330816/centrifugationoperatingmanualcentrifuge58xxfamily.pdf>
- [37] Sharma, S., Gupta, A., Chik, S. M. S. T., Gek, K. C., Podde, P. K., Thraisingam, J., & Subramaniam, M. (2016). Extraction and characterization of keratin from chicken feather waste biomass: a study. In Proceedings of the national conference for postgraduate research (NCON-PGR 2016), Universiti Malaysia Pahang (UMP), Pekan (pp. 693-699).
- [38] Pham, C. Y. (2010). Use of depth filtration in series with continuous centrifugation to clarify mammalian cell cultures. U.S. Patent No. 7,759,117. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [39] Dunn, K. (2014). Separation processes: Centrifuges.
- [40] M. Peters, K. Timmerhaus & R. West. (2001). Plant Design and Economics for Chemical Engineers, McGraw-Hill.
- [41] WageIndicator Foundation. (s.f.). Reporte de salarios. Recuperado el 15 de enero de 2023, de <https://tusalarario.org/chile/salario/reporte-de-salarios>
- [42] GlobalPetrolPrices. (2022). Chile precios de la electricidad. Recuperado el 15 de enero

- de 2023, de https://es.globalpetrolprices.com/Chile/electricity_prices/
- [43] Contreras, S. (2021). Tarifas de Aguas Andinas. Aguas Andinas Boleta. Recuperado el 15 de enero de 2023, de <https://aguasandinasboleta.net/tarifas/>
- [44] Ministerio de Hacienda. (2022). Ley sobre impuesto a las ventas y servicios. Recuperado de https://www.sii.cl/normativa_legislacion/sobreventasyservicios.pdf
- [45] SII. (s.f.). Impuesto a la Renta de Primera Categoría. Recuperado el 16 de enero de 2023, de https://www.sii.cl/ayudas/aprenda_sobre/3072-1-3080.html
- [46] Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2010). Economía. 19ª ed., McGraw Hill.
- [47] Brealey, A., Myers, C. & Allen, F. (2014). Principles of corporate finance. McGraw-Hill.
- [48] Bierman Jr, H., & Smidt, S. (2006). The capital budgeting decision: economic analysis of investment projects. Routledge.
- [49] SII. (2003). Nueva Tabla de Vida Útil fijada por el Servicio de Impuestos Internos para bienes físicos del activo inmovilizado. Recuperado el 16 de enero de 2023, de https://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/tabla_vida_enero.htm

Anexos

Anexo A. Resultados del balance de masa

A continuación se presentan los resultados del balance de masa de cada etapa del proceso productivo.

A.1. BM: Cardado

Tabla A.1: Balance de masa etapa de cardado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]
Entrada	C1	73,5	Pelo	73,5	1	73,5
Salida	C2	70	Pelo	70	1	70
	C3	3,5	Pelo	3,5	1	3,5
					Balance	0

A.2. BM: Prensado

Tabla A.2: Balance de masa etapa de prensado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]
Entrada	C2	70	Pelo	70	1	70
Salida	F1	70	Pelo	70	1	70
					Balance	0

A.3. BM: Lavado

Tabla A.3: Balance de masa etapa de lavado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Flujo volumétrico [m3/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]
Entrada	F1	70	0,052	Pelo	70	1	264,86
	F2	102,96	0,10	Agua	102,96	1	
	F3	91,91	0,10	Etanol	91,91	1	
Salida	F4	264,86	0,26	Pelo	70	0,26	264,86
				Agua	102,96	0,39	
				Etanol	91,91	0,35	
						Balance	0

A.4. BM: Tamizado

Tabla A.4: Balance de masa etapa de tamizado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Flujo volumétrico [m3/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]
Entrada	F4	264,86	0,26	Pelo	70	0,26	264,86
				Agua	102,96	0,39	
				Etanol	91,91	0,35	
Salida	F5	126	0,11	Pelo	70	0,56	264,86
				Agua	56	0,44	
	F6	138,86	0,15	Agua	46,96	0,34	
				Etanol	91,91	0,66	
						Balance	0

A.5. BM: Secado

Tabla A.5: Balance de masa etapa de secado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Flujo volumétrico [m3/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]
Entrada	F5	126	0,26	Pelo	70	0,56	2274,04
				Agua	56	0,44	
	F7	2148,04	1916,03	Aire	2126,77	0,99	
				Agua	21,27	0,01	
Salida	F8	105	0,09	Pelo	70	0,67	2274,04
				Agua	35	0,33	
	F9	2169,04	1916,05	Aire	2126,77	0,98	
				Agua	42,27	0,02	
						Balance	0

A.6. BM: Molienda

Tabla A.6: Balance de masa etapa de molienda.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Flujo volumétrico [m3/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]
Entrada	F8	105	0,09	Pelo	70	0,67	105
				Agua	35	0,33	
Salida	F10	105	0,09	Pelo	70	0,67	105
				Agua	35	0,33	
						Balance	0

A.7. BM: Hidrólisis

Tabla A.7: Balance de masa etapa de hidrólisis.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Flujo volumétrico [m3/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]	
Entrada	F10	105	0,087	Pelo	70	0,67	279,48	
				Agua	35	0,33		
	F11	58,16	0,058	Savinase	58,16	1		
				Agente reductor	58,16	1		
F13	58,16	0,058	Tensioactivo aniónico	58,16	1			
Salida	F14	279,48	0,263	Hidrolizado de queratina	16,38	0,059	279,475	
				Savinase	58,16	0,208		
				Agente reductor	58,16	0,208		
				Tensioactivo aniónico	58,16	0,208		
				Agua	35	0,125		
				Aminoácidos	1,82	0,007		
						Pelo canino no hidrolizado	51,80	0,185
						Balance	0	

A.8. BM: Separación

Tabla A.8: Balance de masa etapa de separación.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Flujo volumétrico [m3/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]	
Entrada	F14	279,48	0,26	Hidrolizado de queratina	16,38	0,06	279,48	
				Savinase	58,16	0,21		
				Agente reductor	58,16	0,21		
				Tensioactivo aniónico	58,16	0,21		
				Agua	35	0,13		
				Otros aa	1,82	0,01		
				Pelo canino no hidrolizado	51,80	0,19		
Salida	F15	192,68	0,19	Líquidos	174,48	0,91	279,48	
				Hidrolizado de queratina	16,38	0,09		
	F16	86,80	0,07	Aminoácidos	1,82	0,01		
				Pelo canino no hidrolizado	51,80	0,60		
						Agua	35	0,40
						Balance	0	

A.9. BM: Concentrado

Tabla A.9: Balance de masa etapa de concentrado.

Corrientes		Flujo másico [kg/batch]	Flujo volumétrico [m3/batch]	Componentes	Masa en corriente [kg/batch]	Fracción másica	Total [kg/batch]
Entrada	F15	192,675	0,19	Líquidos	174,48	0,91	192,68
				Hidrolizado de queratina	16,38	0,09	
				Aminoácidos	1,82	0,01	
Salida	F17	22,96	-	Hidrolizado de queratina	16,38	0,71	192,675
				Aminoácidos	0,84	0,04	
	F18	169,71	-	Líquidos	5,74	0,25	
				Aminoácidos	0,98	0,01	
				Líquidos	168,73	0,99	
						Balance	0

Anexo B. Resultados del dimensionamiento de equipos

A continuación se presentan los resultados obtenidos a partir del dimensionamiento de los equipos del proceso.

B.1. DE: Tanque de lavado

Tabla B.1: Dimensionamiento de diseño del tanque de lavado.

Nombre	Valor	Unidad
Volumen unitario	0,31	[m^3]
Diámetro estanque	0,73	[m]
Altura estanque	0,73	[m]
Diametro aspas	0,37	[m]
Potencia agitador	1,29	[kW]

B.2. DE: Tamiz

Tabla B.2: Dimensionamiento de diseño del tamiz.

Nombre	Valor	Unidad
Número de malla	100	[μm]

B.3. DE: Secador rotatorio

Tabla B.3: Dimensionamiento de diseño del secador.

Nombre	Valor	Unidad
Volumen secador	0,87	[m^3]
Diámetro secador	0,60	[m]
Largo secador	3,02	[m]

B.4. DE: Molino de cuchillas

Tabla B.4: Dimensionamiento de diseño del molino.

Nombre	Valor	Unidad
Energía de reducción de tamaño	3,88	[kW·h/ton]
Potencia molino	0,49	[kW]

B.5. DE: Tanque de hidrólisis

Tabla B.5: Dimensionamiento de diseño del tanque de hidrólisis.

Nombre	Valor	Unidad
Volumen unitario	0,31	[m ³]
Diámetro estanque	0,74	[m]
Altura estanque	0,74	[m]
Diametro aspas	0,37	[m]
Potencia agitador	1,37	[kW]

B.6. DE: Hidrociclón

Tabla B.6: Dimensionamiento de diseño del hidrociclón.

Nombre	Valor	Unidad
Diámetro	0,115	[m]
Diámetro de alimentación	0,015	[m]
Diámetro del overflow	0,023	[m]
Diámetro del underflow	0,008	[m]
Largo	0,788	[m]
Largo buscador vórtice	0,038	[m]
Ángulo de apertura	9	[°]
Caída de presión	9362,91	[Pa]

B.7. DE: Centrífuga de discos

Tabla B.7: Dimensionamiento de diseño de la centrífuga.

Nombre	Valor	Unidad
Velocidad sedimentación	3,E-09	[m/s]
Área proyectada de sedimentación	42170,91	[m ²]
Caudal requerido	0,54	[m ³ /h]
Tiempo operación	0,35	[h]
Eficiencia de separación de aminoácidos	46 %	-

Anexo C. Análisis económico

C.1. Cotización de equipos

A continuación, la Tabla C.1 presenta el detalle de los parámetros que se utilizaron de referencia al momento de cotizar en catálogo los equipos del proceso.

Tabla C.1: Dimensiones características de diseño y de catálogo de los equipos del proceso.

Equipo	Dimensión Característica [Diseño]		Dimensión Característica [Catálogo]		Precio [USD]
	Máquina de cardado	Capacidad	70 [kg/día]	Capacidad	
Prensa	-	-	Tipo	Placas planas	1.356
Tanque agitado ^a	Volumen	0,3 [m ³]	Volumen	Personalizable	2.000
Tamiz	Tamaño de abertura	0,1 [mm]	Tamaño de abertura	0,1 [mm]	1.245
Secador rotatorio	Calor de calentamiento	18,4 [kW]	Potencia de calentamiento máxima	30 [kW]	2.800
Molino de cuchillas	Capacidad	105 [kg/h]	Capacidad promedio	100 [kg/h]	2.241
Hidrociclón	Caudal	1,9 [m ³ /h]	Caudal promedio	4 [m ³ /h]	107
Centrífuga	Capacidad	542 [L/h]	Capacidad promedio	1.250 [L/h]	13.500

^a Este equipo es utilizado tanto en la etapa de lavado como en la etapa de hidrólisis puesto que se requieren dimensiones y funcionamientos iguales.

C.2. Consumo de agua potable del proceso

En la Tabla C.2 se detalla el consumo de agua potable del proceso, que corresponde al agua utilizada en el lavado del pelo canino y la requerida para diluir los compuestos de la hidrólisis. La tarifa de agua potable es de 1,675 [USD/m³].

Tabla C.2: Detalle del consumo anual de agua potable en el proceso.

Agua	Consumo diario [m ³]	Consumo anual [m ³]	Costo anual [USD]
Lavado	0,103	25,82	43
Dilusión detergente	0,058	14,58	24
Dilusión agente reductor	0,058	14,58	24
Dilusión tensioactivo aniónico	0,058	14,58	24
Total [USD]			117

C.3. Consumo energético del proceso

En la Tabla C.3 se detalla el consumo eléctrico por equipo según su tiempo de funcionamiento diario, considerando 5 días de trabajo semanal y 50 semanas al año. Además, la tarifa de consumo de electricidad es de 0,13 [USD/kWh].

Tabla C.3: Detalle del consumo eléctrico por equipo.

Equipo	Consumo unitario [kW]	Tiempo de operación [hr/día]	Consumo anual [kWh]	Costo anual [USD]
Máquina de cardado)	4	≈2	2.000	260
Prensa)	7,8	≈2	3.900	507
Tanque (lavado)	1,30	1,5	487,5	63
Tamiz	0,08	1	20	3
Secador	31,50	2	15.750	2.048
Molino	2,20	1	550	72
Tanque (hidrólisis)	1,30	4	1.300	169
Hidrociclón	0,50	0,17	20,8	3
Centrífuga	5,50	0,33	458,3	60
Total [USD]				3.183

C.4. Depreciación de equipos

A continuación, en la Tabla C.4 se presentan los valores de depreciación de cada equipo del proceso, según los datos de vida útil obtenidos del Servicio de Impuestos Internos [49]. Respecto al valor de reventa, este se considera un 20% más alto que el valor libro luego de 10 años.

Tabla C.4: Depreciaciones de equipos.

Equipos	Vida útil [años]	Valor de adquisición [USD]	Depreciación anual [USD]	Valor libro año 10 [USD]	Valor de reventa [USD]
Máquina de cardado	15	1.560	104	520	624
Prensa	15	1.627	108	542	651
Tanque agitado	15	2.400	160	800	960
Tamiz	10	1.245	125	0	0
Secador rotatorio	15	3.360	224	1.120	1.344
Molino de cuchillas	10	2.689	269	0	0
Hidrociclón	15	107	7	36	43
Centrífuga	15	16.200	1.080	5.400	6.480
Total [USD]			2.077	8.417,9	10.101,5