



Ingeniería Química,
Biotecnología y Materiales
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Entrega parcial 3: Producción de un alimento funcional a partir de descartes de la industria agropecuaria

IQ5701: Taller de diseño de procesos

Integrantes: Benjamín Armijo
Raimundo Oyarce
Nicolás Salas
Denisse Urrea
Profesores: Elisa Díaz
Álvaro Olivera
Javiera Rizzo
Auxiliares: Constanza Becerra
Constanza Escobar
Francisco Henríquez
Matías Neira
Diego Narváez
Josefa Orellana
Fecha: 13 de diciembre de 2018

Resumen

Para combatir la desnutrición infantil aguda en Chile, se propone la elaboración de un alimento que cumpla con los requerimientos nutricionales mínimos para lograr el desarrollo integral del niño, y que además sea accesible a las familias más vulnerables. Por lo anterior, se plantea la utilización de descartes de la industria agrícola (papa) y pesquera (salmón) para disminuir los costos del producto.

Dado el límite de batería definido, las líneas de procesamiento del salmón, papa y linazae constan principalmente de un lavado, esterilización, cortado, molido y una extracción de agua. Para finalmente ser mezclados con los micronutrientes en un mezclador.

Como objetivo para el presente informe, se tiene la presentación de un flowsheet realizado en AutoCad y el dimensionamiento de 8 equipos. Además, se recalcula la necesidad de descartes y productos a comprar para suplir producción mensual de 19,5 toneladas.

Las dimensiones obtenidas son: molino de bolas (tiempo de residencia 5 [min]), intercambiador de calor (área de transferencia 3,6 [m^2]), deshuesador (número de poros 3280), filtro (0,5 [m^2]), secador rotatorio (diámetro 5,15 [m] y largo 25,54 [m]), tornillo extrusor (diámetro 0,41 [m] y largo 3,75 [m]), laguna aeróbica (volumen 65,38 [m^3] y tiempo de residencia 29,5 [días]) y mixer settler (volumen reactor 3,4 [m^3] y volumen settler 4,4 [m^3]).

Al realizar el balance de masa global, se obtuvo un error de 0,06 %, que es atribuible a la etapa de purificación de proteínas por dos fases acuosas llevada a cabo en el mixer settler.

En conclusión, se cumplen los objetivos de realizar el diagrama de flujo del proceso y de dimensionar ocho equipos. Junto con esto, fue posible determinar los flujos de entrada y salida de cada una de las etapas involucradas en el proceso. Como proyección, se requiere estudiar con más detalle el potencial económico de los residuos sólidos generados y de la proteína extraída de la papa, debido a que pueden generar ingresos que permitan reducir el precio de venta del alimento funcional.

Índice de Contenidos

1	Introducción	1
1.1	Contexto	1
1.2	Caso Base	1
1.3	Límite de Batería	1
1.4	Organización	2
1.4.1	Misión	2
1.4.2	Visión	2
2	Proceso Productivo	2
2.1	Descripción	2
2.2	Justificación de las operaciones unitarias	3
2.3	Equipos Dimensionados	3
2.4	Principales supuestos	4
3	Discusiones y Conclusiones	5
4	Anexos	10
4.1	Composición del alimento	10
4.2	Caso Base	12
4.2.1	Cuantificación de la demanda	12
4.2.2	Cantidad de nutrientes necesaria	12
4.3	Descartes a utilizar	14
4.3.1	Descartes producidos en un año	14
4.3.2	Cuantificación de descartes disponibles	14
4.3.3	Elección de las cantidades de descartes a utilizar	16
4.4	Equipos Dimensionados	18
4.4.1	Molino de bolas	18
4.4.2	Intercambiador de calor	20
4.4.3	Deshuesador	23
4.4.4	Tornillo extrusor	26
4.4.5	Filtro	29
4.4.6	Laguna aireada	31
4.4.7	Secador rotatorio	33
4.4.8	Mixer Settler	39
4.4.9	Equipos dimensionados por catálogo	42

Lista de Figuras

1	Flowsheet del proceso.	
2	Esquema de flujos de entrada y salida del equipo de molienda.	18
3	Esquema con flujos del intercambiador de calor	21
4	Esquema de flujos de entrada y salida del equipo.	23
5	Geometría del equipo.	23
6	Esquema del tornillo extrusor.	26

7	Esquema de flujos de entrada y salida del equipo.	29
8	Esquema de flujos de entrada y salida de la laguna aireada	31
9	Esquema de los flujos del ecador rotatorio	33
10	Geometría del secador rotatorio.	34
11	Esquema de flujos de entrada y salida del sistema ATPS. []	39

Lista de Tablas

1	Resultados del dimensionamiento de equipos.	4
2	Requerimientos de macronutrientes por rango etario.	10
3	Requerimientos de micronutrientes por rango etario	11
4	Total de nutrientes necesarios.	13
5	Cuantificación de descartes anuales	14
6	Descartes mensuales de producto	15
7	Composición nutricional de los descartes.	16
8	Materias primas a utilizar.	17
9	Parámetros para el diseño de un molino de bolas.	19
10	Suuestos tomados para el diseño.	19
11	Relaciones para el diseño del molino.	20
12	Dimensionamiento del molino.	20
13	Parámetros utilizados para el dimensionamiento del intercambiador	22
14	Resultados del dimensionamiento del intercambiador de calor.	23
15	Parámetros utilizados para el dimensionamiento del deshuesador.	25
16	Datos usados para el deshuesador.	25
17	Resultados para el diseño del deshuesador	26
18	Parámetros usados para el diseño del tornillo.	28
19	Datos usados para el dimensionamiento del tornillo.	28
20	Resultados del dimensionamiento del tornillo.	29
21	Parámetros usados para la filtración.	30
22	Datos usados para el dimensionamiento del filto.	30
23	Parámetros de las ecuaciones de dimensionamiento de la laguna aireada	32
24	Valor de parámetros utilizados en dimensionamiento de la laguna aireada	32
25	Resultados dimensionamiento de Laguna Aireada.	33
26	Parámetros utilizados para el dimensionamiento del secador.	35
27	Parámetros usados para el dimensionamiento del secador.	36
28	Datos dimensionamiento del secador.	37
29	Resultados parciales del dimensionamiento del secador.	38
30	Resultados del dimensionamiento del secador.	39
31	Parámetros del balance de masa usados para dimensionar la etapa de mixer settler.	40
32	Parámetros del dimensionamiento para la etapa de mixer settler.	41
33	Datos para el proceso de ATPS.	41
34	Resultados dimensionamiento Mixers Settlers.	42
35	Equipos dimensionados por catálogo.	43

1. Introducción

1.1. Contexto

En la actualidad, alrededor de 815 millones de personas en el mundo sufren desnutrición, de los que 155 millones corresponden a niños menores de 5 años que tienen un peso peligrosamente bajo para su edad y un retraso en su crecimiento como consecuencia de una malnutrición crónica [1].

Además, se ha determinado que la alimentación durante los primeros mil días de vida es fundamental para poder desarrollar habilidades sociales, cognitivas, emocionales y físicas, por lo que un déficit nutricional en este periodo tiene consecuencias irreversibles en el individuo, ya que limita el potencial físico e intelectual que puede desarrollar el niño [2].

Es por ello que el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se ha planteado por como segundo objetivo para el desarrollo el terminar con todas las formas de hambre y desnutrición para el año 2030. Y a su vez, velar por el acceso de todas las personas, en especial los niños, a una alimentación suficiente y nutritiva durante todo el año [3].

En consecuencia a lo anterior, el proyecto consiste en la elaboración de un alimento funcional capaz de suplir los requerimientos nutricionales de los niños en sus primeros 4 años de vida. Para su producción se utilizarán descartes de la industria agrícola y pesquera, dado que poseen un alto valor nutricional y un menor valor de venta, que se traduce en un menor costo de producción.

El objetivo general del proyecto es concebir y diseñar un proceso para la producción de un alimento funcional que supla los requerimientos nutricionales mínimos para el desarrollo integral de los infantes, con la finalidad de combatir la desnutrición infantil. Para esto, se considera su factibilidad a nivel técnico, económico y ambiental. En particular, el objetivo del presente informe es realizar el diagrama de flujos del proceso de producción del alimento.

1.2. Caso Base

Durante los primeros años de vida del infante, es necesario consumir una cantidad determinada de macronutrientes (proteínas, carbohidratos y lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales), los cuales varían según la edad del infante. El alimento producido permite satisfacer los requerimientos nutricionales de cada grupo, los cuales se encuentran presente en el Anexo 4.1.

En Chile, un 0,3 % de los niños menores a 5 años sufren de desnutrición aguda. Se ha determinado abarcar a toda la población entre 6 meses y 4 años de edad que posea esta condición, equivalente a 3.380 niños. Cabe destacar que durante los primeros 6 meses de vida la alimentación se basa fundamentalmente en el consumo de la leche materna, por lo que no se considera este grupo dentro del consumidor objetivo. En vista de lo anterior, se debe lograr una producción de 19,5 toneladas para poder satisfacer la demanda [4]. Para más detalles de este cálculo, ver Anexo 4.2.1.

1.3. Límite de Batería

Las principales materias primas del proceso corresponden a descartes de la industria del salmón y la industria agrícola, que son compradas a empresas productoras a un precio menor que el de sus

productos [5]. Por otra parte, los residuos líquidos son procesados en una unidad de tratamiento de riles de la planta, mientras que los restos sólidos son transportados a rellenos sanitarios por empresas externas para su correcta eliminación.

El producto es comercializado a organizaciones encargadas de distribuirlo, tales como UNICEF y CONIN, estando en formato de polvo deshidratado en un envase de 5,8 [kg] para alimentar a un infante por un periodo de 30 días. En el Anexo 4.3.1 se detalla la composición nutricional del alimento y en el 4.3.2 se muestra la cuantificación de los descartes a utilizar.

1.4. Organización

La organización se constituye como una empresa sin fines de lucro, dedicada a la industria alimenticia. En particular, a la producción de alimentos funcionales para niños de entre 6 meses y 4 años de edad que sufren de desnutrición aguda. Se abarcan tres productos distintos, uno para cada grupo etario.

1.4.1. Misión

“Nuestra misión es combatir la desnutrición infantil aguda para promover un desarrollo integral en infantes, mediante la producción de un alimento funcional con altos estándares de calidad y accesible para la población crítica. Formar una organización que promueva el trabajo en equipo, sustentabilidad, compromiso y labor social.”

1.4.2. Visión

“Ser referente latinoamericano en la lucha contra la desnutrición infantil y el manejo responsable de descartes de la industria alimentaria para la producción de alimentos. Generar un cambio social en Chile, que conlleve la concientización de la sociedad, la erradicación de la desnutrición en Chile y la colaboración entre industrias para superar dificultades nacionales.”

2. Proceso Productivo

2.1. Descripción

El proceso propuesto se puede entender como tres líneas productivas paralelas para procesar salmón, papas y linaza. La secuencia de las operaciones unitarias de las líneas puede ser observada en la Figura 1.

Los procesos se inician con la recepción de las materias primas y un proceso de lavado con agua para eliminar suciedad y contaminantes de los descartes, destinando el líquido a un proceso de tratamiento de riles. Luego, se procede a cortar y moler o esterilizar (dependiendo del descarte) con el fin de aumentar el área de transferencia y evitar la descomposición del producto.

En particular, los descartes de salmón son cocidos para esterilizar y facilitar el proceso de separación de la carne de los huesos. Este último es llevado a cabo en un deshuesador. El caldo obtenido durante la cocción y la pasta proveniente del deshuesador son filtrados separando la torta (que

sigue en la línea productiva) y el caldo que es reciclado a la cocción. Posteriormente se procede a liofilizar el salmón para deshidratarlo y mantener sus características alimenticias, para finalmente ser almacenado junto con Vitamina E (a una concentración de 2,5 [mM]) para evitar la oxidación de sus ácidos grasos.

Con respecto al tratamiento de la papa, luego de ser molida se le extraen proteínas, ya que el producto tiene un exceso de estas. Esta eliminación es llevada a cabo con un sistema ATPS (*Aqueous Two Phase System*), que consiste en una extracción líquido-líquido con fases salinas (Buffer Fosfato 20 % con 0 % y 6,5 % NaCl) y una fase orgánica (Solución de PEG4000 20 %). Obteniendo una fase salina (Buffer Fosfato 20 % 0 % NaCl) rica en proteínas y la otra fase salina con una solución de papa y disminuida en proteínas. Esta última es filtrada y secada para eliminar el contenido hídrico para finalmente continuar al mezclador. Además, se ha incluido la línea de extracción de lípidos a partir de linaza ya que poseen un alto contenido lipídico y su extracción se encuentra documentada. Para ello se utiliza una ruptura mecánica de la semilla con un tornillo extrusor.

Finalmente, las líneas descritas convergen a un mezclador y a un envasado para producir el producto con los porcentajes correspondientes para cada grupo etario. Cabe destacar que en el proceso existen etapas de almacenamiento, que no son mencionadas, que tienen el fin de poder utilizar procesos batch y continuos en las líneas productivas.

2.2. Justificación de las operaciones unitarias

Los procesos escogidos se caracterizan por su simpleza en las operaciones utilizadas. Se descartan procesos extractivos, pues complejizan el número de flujos y bajan la eficiencia total del proceso, mientras que conservar los descartes completos permite obtener la totalidad de sus componentes.

Destaca la extracción de proteínas por ATPS ya que permite una extracción rápida y eficiente con grandes volúmenes en tiempos de operación cortos, lo que no es muy característico de otros procesos como las cromatografías.

Con la finalidad de cumplir con la norma y minimizar gastos, es necesario tener una planta de tratamiento de riles, en particular una laguna aireada para reducir la carga orgánica del sistema.

El proceso de esterilización es de vital importancia para mantener la calidad del producto en el tiempo. Por lo tanto, es necesario un proceso que mantenga las propiedades nutricionales y organolépticas de las materias primas, cumpliendo con este propósito la esterilización con pulsos de luz visible. Se consideran los procesos de secado y liofilización como procesos distintos, pues se debe asegurar la mantención de los ácidos grasos en el salmón para una correcta nutrición. Dado que el secado oxida algunas moléculas perdiendo su funcionalidad, se opta por la liofilización.

2.3. Equipos Dimensionados

A continuación, en la Tabla 1 se muestran los equipos dimensionados del proceso, para más detalles de este cálculo ver Anexo 4.4.

Equipo	Parámetro a dimensionar	Valor
Molino de Bolas	Tiempo de residencia (t)	t= 5 [min]
	Número de pasadas (N)	N= 139
Intercambiador de Calor (serpentín)	Área de transferencia (A)	A= 3,6 [m^2]
Deshuesador	Número de poros (N)	N= 3280
Filtro	Área del filtro salmón (As)	As= 0,5 [m^2]
	Área del filtro papa (Ap)	Ap= 3,57 [m^2]
Secador Rotatorio	Diámetro (D)	D= 5,15 [m]
	Largo (L)	L= 25,24 [m]
Tornillo Extrusor	Diámetro (D)	D= 0,41 [m]
	Longitud (L) de la columna	L= 3,75 [m]
Laguna Aeróbica	Tiempo de residencia (T)	T= 29,5 [días]
	Volumen (V)	V= 65,38 [m^3]
Mixer Settler	Volumen reactor (Vr)	Vr= 3,4 [m^3]
	Volumen sedimentador (Vs)	Vs= 4,4 [m^3]

Tabla 1: Resultados del dimensionamiento de equipos.

2.4. Principales supuestos

Como principales supuestos que pueden afectar la producción o el proceso se encuentran:

- La distribución homogénea en la edad de la población que sufre de desnutrición crítica.
- Para el intercambiador de calor se imponen flujos de entrada, constante global de transferencia de calor y calor específico constante para la especie procesadas. Además, se considera que el calor específico del caldo de cocción corresponde a un promedio ponderado entre el del agua y el del salmón. Para el coeficiente de transferencia global de calor, se asume que es igual al de un intercambiador de calor de acero utilizado para calentar agua con vapor.
- Las propiedades físicas y de resistencia de la semilla de linaza se consideran similares *Plukenetia volubilis*, semilla de tamaño mucho mayor (más de 10 veces).
- Los lípidos (ácidos grasos Omega 3 y Omega 6) no se degradan durante el proceso y es posible mezclarlos en seco de manera homogénea.
- La torta formada por el caldo de cocción de salmón tiene la misma resistencia que la de un cultivo de *S. pristinaespiralis* con 7 hrs de acidificación.

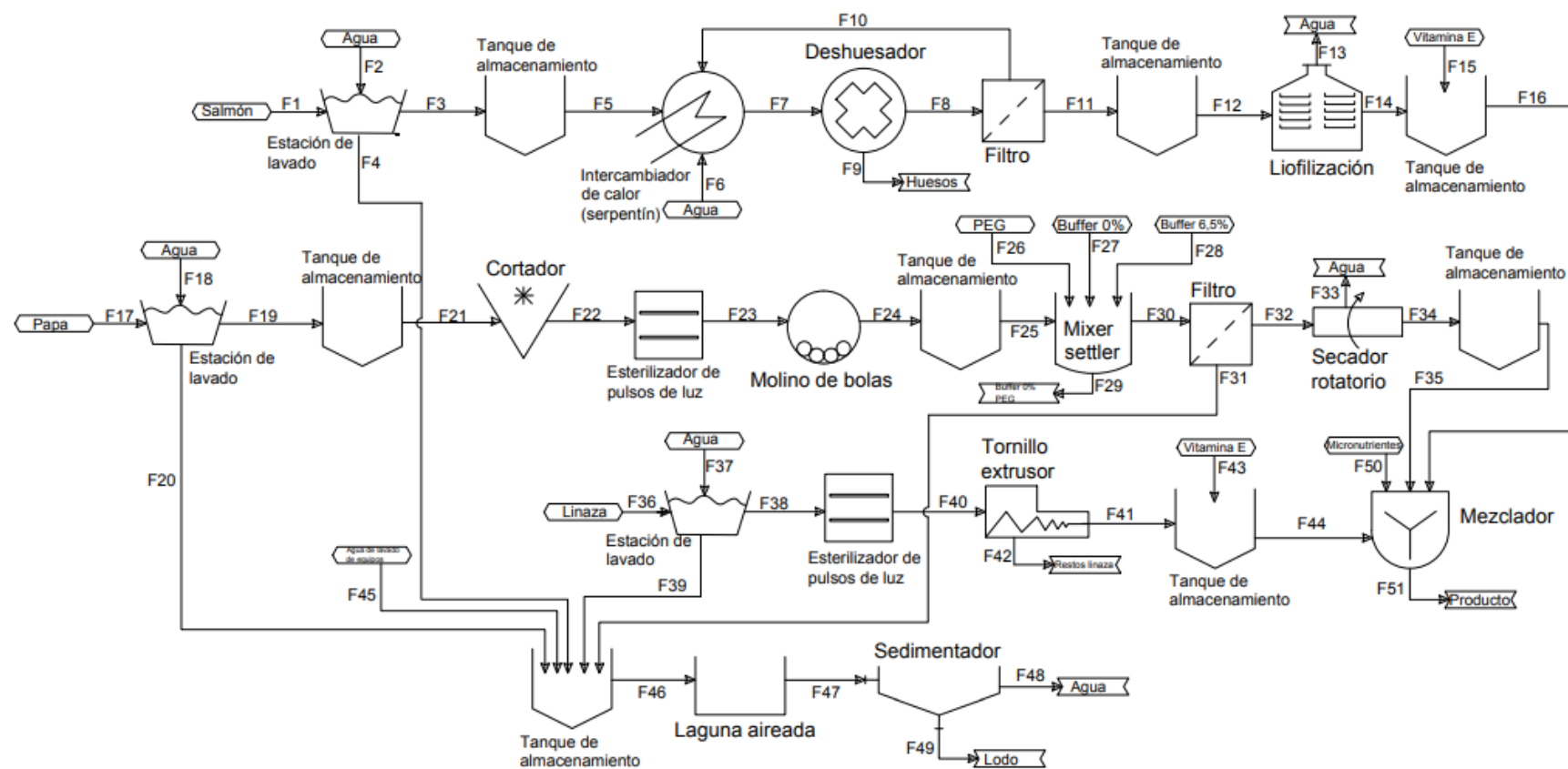


Figura 1: Flowsheet del proceso.

3. Discusiones y Conclusiones

La formulación del caso base supone una distribución uniforme de la población en torno a su edad, lo cual permite estimar la producción dado que se conoce las concentraciones requeridas por cada grupo. Estos valores son fundamentales dado que determinar el volumen de producción. La elección de los descartes se realiza minimizando el volumen a utilizar con tal de reducir la compra de materias, por ejemplo los descartes de tomate poseen un menor valor nutricional en comparación al salmon, por lo que puede ser suplido por los otros descartes. Con esto, se obtiene un alimento a base de salmón, papa y linaza. La compra de linaza se justifica porque se tiene un déficit de lípidos, y esta semilla poseen un alto contenido lipídico y permite no trabajar con volúmenes altos de descartes.

Es importante buscar equipos y procesos simples para cumplir con el objetivo de que el producto sea accesible para las familias de menores ingresos. Es por esto que se evita la utilización de procesos extractivos de baja eficiencia. Por lo tanto, se decide tratar el descarte completo para su incorporación al alimento.

A modo general, los procesos son dimensionados con supuestos fundamentados en bibliografía que permiten dimensionar los equipos. Dado que se asumen condiciones favorables (Resistencias menores, coeficiente de transferencia, calores específicos fijos, DBO estándar, eficiencias, etc) los equipos quedan subdimensionados.

Para el proceso de ATPS se supone reutilización de la fase PEG y que ésta entra con una concentración nula de proteínas. Siendo este supuesto el que genera el principal error en el Balance de Masa, ya que implica pérdidas continuas de proteína que no contemplan los balances.

Las etapas de lavado no reciclan sus aguas, por lo que el consumo hídrico es alto. Se sugiere investigar más en temas asociados para ahorrar agua o estudiar la factibilidad de usar el agua consumida. La revisión de catálogos señala que las dimensiones obtenidas son semejantes a las de equipos reales y operativos.

Un supuesto fuerte es que la fuerza de ruptura de la semilla de linaza es igual a la de la semilla Sacha inchi, que tiene de mayor tamaño y peso que la linaza. Por lo tanto, es esperable que la fuerza de ruptura de la linaza sea menor a la utilizada en el dimensionamiento del tornillo extrusor, por lo que este equipo estaría sobredimensionado.

Se concluye que se logra cumplir el objetivo de la presente entrega, ya que se realizó el diagrama de flujos del proceso de producción del alimento. Junto con esto, fue posible determinar los flujos de entrada y salida de cada una de las etapas involucradas en el proceso. Como proyección, es necesario realizar un balance de energía de los equipos utilizados con tal de poder analizar el aumento de la temperatura de operación y el consumo energético asociado, para poder así determinar la factibilidad técnica de la operación de la planta.

Por otra parte, se requiere estudiar con más detalle el potencial económico de los residuos sólidos generados y de la proteína extraída de la papa, dado que podrían procesarse para obtener un subproducto de valor agregado para otros actores del mercado.

Referencias

- [1] Organización mundial de la Salud. Vuelve a crecer el hambre en el mundo, impulsada por los conflictos y el cambio climático, según un nuevo informe de la ONU. [En línea]. <<https://bit.ly/2EgP1hv>>, sep. [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
- [2] UNICEF. Lo que viven en sus primeros mil días es la base del resto de su vida. [En línea]. <https://www.unicef.org/uruguay/spanish/pdf_digital_final-interactivo.pdf>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
- [3] ONU. Objetivo 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible. [En línea]. <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
- [4] FAO. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2017. [En línea]. <<http://www.fao.org/3/a-i7914s.pdf>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
- [5] Descartes: Alta gastronomía con ese pescado que nadie quiere. [En línea]. <<http://www.aqua.cl/2012/05/24/descartes-alta-gastronomia-con-ese-pescado-que-nadie-quiere/>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
- [6] What Is the Average Amount of Fat That Children Should Take in on a Daily Basis?. [En línea]. <<https://healthyeating.sfgate.com/average-amount-fat-children-should-intake-daily-basis-7884.html>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [7] “Guía de Alimentación del Niño(a) Menor de 2 años. Guías de Alimentación hasta la Adolescencia. DPTO. NUTRICIÓN Y CICLO VITAL DIVISIÓN DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE ENFERMEDADES MINISTERIO DE SALUD CHILE”, 2005. [En línea]. <http://www.nutricion.sochipe.cl/subidos/catalogo3/Guia_Alimentacion.pdf>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [8] L. Peña Quintana, L. Ros Mar, D. González Santana, y R. Rial González, “Alimentación del preescolar y escolar”. [En línea]. <https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/alimentacion_escolar.pdf>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [9] Importancia de la nutrición: Primeros 1000 días de vida. [En línea]. <<http://www.bvs.hn/APH/pdf/APHVol17/pdf/APHVol17-1-2016-13.pdf>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [10] Instituto Nacional de Estadísticas Chile 2017. Compendio Estadístico [En línea]. <<http://www.ine.cl/docs/default-source/publicaciones/2017/compendio-estadistico-2017.pdf?sfvrsn=4>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [11] Instituto Nacional de estadísticas. Nacimientos en Chile. <<http://www.ine.cl/prensa/2018/08/31/n%C3%BAmero-de-nacimientos-en-chile-descendi%C3%B3-5-6-entre-2015-y-2016>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
- [12] DESCARTES DE LA AGROINDUSTRIA SE TRANSFORMAN EN NUEVO NICHOS DE NEGOCIO. [En línea]. <<http://www.chilealimentos.com/wordpress/descartes-de-la-agroindustria-se-transforman-en-nuevo-nicho-de-negocio/>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].

-
- [13] Durante la temporada 2010/11 se llegará a 22.000 toneladas de congelado, en comparación con las 9.000 toneladas de la temporada anterior. [En línea]. <<https://bit.ly/2CcJKGh>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
 - [14] Plan de negocio para planta de congelado de Berries en la VII Región. [En línea]. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103941/cf-schultz_gs.pdf?sequence=3&isAllowed=y>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
 - [15] C. Otero Rambla y C. Balbín, “ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar”, 2007. [En línea]. <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223114967001>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
 - [16] “Pe s c a d o s 490 - Salmón”. [En línea]. <<http://www.fen.org.es/mercadofen/pdfs/salmon.pdf>>, [Consulta: 18 de octubre de 2018].
 - [17] “Tomate - Composición nutricional”. [En línea]. <<http://www.fen.org.es/mercadoFen/pdfs/tomate.pdf>>, [Consulta: 18 de octubre de 2018].
 - [18] Composición Nutricional de FRAMBUESA. [En línea]. <<https://www.composicionnutricional.com/alimentos/FRAMBUESA-1.>>, [Consulta: 18 de octubre de 2018].
 - [19] Producción y comercialización de la Papa. [En línea]. <https://www.opia.cl/static/website/601/articles-75500_archivo_01.pdf>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [20] Alimentación de rumiantes con papas de desecho. [En línea]. <http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/99-papa.pdf>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [21] Boletín de la papa. [En línea]. <<https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Boletin-papa0318.pdf>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [22] Separación y Procesos Biotecnológicos. BT5304. Maria Elena Lienqueo C.
 - [23] M. E. Lienqueo, «Clase 4 Rompimiento Celular,» IQ5304-Separación y Procesos Biotecnológicos, 2018.
 - [24] HEIM, A., KAMIONOWSKA, U., SOLECKI, M. The effect of microorganism concentration on yeast cell disruption in a bead mill. *Journal of food engineering*, 83(1): 121–128, 2007.
 - [25] [Wahal Engineers, «Bead Mill,» Wahal Engineers. [En línea]. <<http://www.wahalengineers.net/bead-mill.html>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
 - [26] Comparison of oil yield and quality obtained by different extraction procedures from salmon (*Salmo salar*) processing byproducts. [En línea]. <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ejlt.201500269>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
 - [27] MUHAMMED, M.A., MANJUNATHA, N., MURTHY, K.V., BHASKAR, N. Design and testing of small scale fish meat bone separator useful for fish processing. *Journal of food science and technology*, 52(6): 3520–3528, 2015.

-
- [28] Machinery related to Surimi (Fish Paste) Products. [En línea]. <[urlhttp://www.ubeyanagiya.com/html/products/surimi](http://www.ubeyanagiya.com/html/products/surimi)> [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [29] Shigley, M. (2006). DISEÑO DE INGENIERÍA MECANICA. Estados Unidos: Mc Graw Hill.
 - [30] Mott, R. (2006). DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS. México: Pearson Educación.
 - [31] NELSON RAMIRO GUTIÉRREZ SUQUILLO, IRENE ALEXANDRA SAÁ ARÉVALO, A.F.V.L. Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla Sacha Inchi con un proceso de prensado en frío. [En línea]. <<http://oaji.net/articles/2017/1783-1490795684.pdf>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
 - [32] Shigley, M. (2006). DISEÑO DE INGENIERÍA MECANICA. Estados Unidos: Mc Graw Hill.
 - [33] MEIRELES, M., LAVOUTE, E., BACCHIN, P. Filtration of a bacterial fermentation broth: harvest conditions effects on cake hydraulic resistance. *Bioprocess and biosystems engineering*, 25(5): 309–314, 2003.
 - [34] Lagunas aireadas. Serie: Tratamiento secundario. [En línea]. <<https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Lagunas+aireadas.pdf/9c714483-d624-b290-42f7-901dc59939b2>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
 - [35] Clima y vegetación Región de la Araucanía. [En línea]. <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region9/clima.htm>>, [Consulta: 10 de diciembre de 2018].
 - [36] water consumption and wastewaters in fresh-cut vegetable production. [En línea]. <<https://journal.fi/afs/article/download/41306/14073/>>, [Consulta: 09 de diciembre de 2018].
 - [37] Principles Of Mass Transfer And Separation Process. Binay dutta.
 - [38] Structure, processing and properties of potatoes. [En línea]. <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19920021045.pdf>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [39] Specific Heat of Food and Foodstuff. [En línea]. <https://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-capacity-food-d_295.html>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [40] Specific Heat Capacities of Air. [En línea]. <https://www.ohio.edu/mechanical/thermo/property_tables/air/air_cp_cv.html>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [41] Drying kinetics of potato using a self-designed cabinet dryer. [En línea]. <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311932.2015.1036485>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [42] Design and Development of An Industrial Fruit and Vegetable Dryer. [En línea]. <[http://maxwellsci.com/print/rjaset/\(2\)44-53.pdf](http://maxwellsci.com/print/rjaset/(2)44-53.pdf)>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [43] 27 Drying of Potato, Sweet Potato, and Other Roots. [En línea]. <https://www.researchgate.net/publication/265480176_27_Drying_of_Potato_Sweet_Potato_and_Other_Roots>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
 - [44] ASENJO, J.A., ANDREWS, B.A. Aqueous two-phase systems for protein separation: phase separation and applications. *Journal of Chromatography A*, 1238: 1–10, 2012.

-
- [45] Lavadora general de Alimentos Ref. 10017. [En línea]. <<http://www.imarca.com.ve/Lavadora-general-de-Alimentos.php>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [46] Pulse Xenon UV Radiation System for Sterilization. [En línea]. <https://www.alibaba.com/product-detail/NEW-Pulse-Xenon-UV-Radiation-System_383843878.html>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [47] Large commercial electric fruit vegetable potato cutter machine. [En línea]. <https://www.alibaba.com/product-detail/Large-commercial-electric-fruit-vegetable-potato_60689011774.html?spm=a2700.7724857.normalList.12.3bd36d01p61cjK&s=p>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [48] 50kg Batch Freeze Dryer. [En línea]. <<http://www.esquirebiotech.com/50kg-batch-freeze-dryer-3671994.html>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [49] High Efficiency Sludge Thickener Tank , Sedimentation Tank. [En línea]. <https://www.alibaba.com/product-detail/High-Efficiency-Sludge-Thickener-Tank-Sedimentation_60792258856.html?spm=a2700.7724838.2017115.9.1e4c7269JJPdUK&s=p>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].
- [50] mezclador de tornillo vertical. [En línea]. <<https://spanish.alibaba.com/product-detail/1-ton-vertical-feed-mixer-vertical-screw-mixer-60183050419.html>>, [Consulta: 13 de diciembre de 2018].

4. Anexos

4.1. Composición del alimento

La composición del alimento varía según los requerimientos del grupo etario que consumirá el producto. No se consideran los niños que tienen entre 0 y 6 meses de vida, dado que la alimentación por medio de la leche materna entrega todos los nutrientes requeridos para esa etapa del desarrollo. A continuación, en las Tablas 2 y 3 se muestra la cantidad diaria que se debe consumir de cada nutriente con tal de que el niño pueda tener un desarrollo integral. Es necesario destacar que la fórmula del producto poseerá la misma composición de cada nutriente que se señalan en las tablas siguientes, dado que el alimento funcional a producir tiene como objetivo suplir estos requerimientos nutricionales [6] [7] [8].

Nutriente	Cantidad diaria requerida para infantes de 6 a 12 meses	Cantidad diaria requerida para infantes de 1 a 3 años	Cantidad diaria requerida para infantes de 3 a 4 años
Proteínas	11 [g]	13 [g]	19 [g]
Lípidos y grasas	30 [g]	30 [g]	35 [g]
Carbohidratos	95 [g]	130 [g]	130 [g]
Vitamina A	400 [μ g]	400 [μ g]	300 [μ g]
Vitamina D	7 [μ g]	7 [μ g]	5 [μ g]
Vitamina E	5 [mg]	6 [mg]	7 [mg]
Vitamina C	50 [mg]	15 [mg]	25 [mg]
Vitamina B1	0,3 [mg]	0,5 [mg]	0,6 [mg]
Vitamina B2	0,4 [mg]	0,5 [mg]	0,6 [mg]
Vitamina B3	4 [mg]	6 [mg]	8 [mg]
Vitamina B5	1,8 [mg]	2 [mg]	3 [mg]
Vitamina B6	0,3 [mg]	0,7 [mg]	0,6 [mg]
Vitamina B7	6 [μ g]	8 [μ g]	12 [μ g]
Vitamina B9	50 [mg]	70 [mg]	-
Vitamina B12	0,5 [μ g]	0,9 [μ g]	1,2 [μ g]
Vitamina K	10 [μ g]	30 [μ g]	50 [μ g]

Tabla 2: Requerimientos de macronutrientes por rango etario.

Nutriente	Cantidad diaria requerida para infantes de 6 a 12 meses	Cantidad diaria requerida para niños de 1 a 3 años	Cantidad diaria requerida para niños de 3 a 4 años
Calcio	270 [mg]	500 [mg]	800 [mg]
Sodio	0,37 [g]	1 [g]	1,2 [g]
Potasio	0,7 [g]	3 [g]	3,8 [g]
Magnesio	75 [mg]	80 [mg]	130 [mg]
Hierro	11 [mg]	7 [mg]	10 [mg]
Cobre	200 [μ g]	340 [μ g]	440 [μ g]
Zinc	3 [mg]	3 [mg]	5 [mg]
Fosforo	275 [mg]	460 [mg]	500 [mg]
Yodo	130 [mg]	90 [mg]	90 [mg]
Fibra	-	19 [g]	25 [g]

Tabla 3: Requerimientos de micronutrientes por rango etario

4.2. Caso Base

4.2.1. Cuantificación de la demanda

Se plantea abarcar toda la población de niños menores a 4 años que presenten desnutrición aguda, dado que los primeros mil días de vida son esenciales para poder desarrollar habilidades sociales, cognitivas, emocionales y físicas [9], se ha determinado que un déficit nutricional en este periodo tiene consecuencias irreversibles en el individuo. Cabe destacar que dentro del caso base no se consideran los niños que poseen entre 0 y 6 meses de vida, ya que durante este periodo la alimentación consiste en el consumo de leche materna.

Según el Censo 2017, la población total que tiene una edad menor a 4 años es de alrededor de 1.242.246 niños [10]. A su vez, el número de nacimientos por año equivale a 231.749 niños vivos, cuya distribución es homogénea durante el año [11]. En vista de lo anterior, en un año, los menores a 6 meses serán:

$$menores\ 6\ meses = \frac{231.749}{2} = 115.874\ niños \quad (1)$$

Luego, los niños menores a 4 años y mayores a 6 meses serán:

$$niños\ 6\ meses \rightarrow 4\ años = 1.242.246 - 115.874 = 1.126.372\ niños \quad (2)$$

En Chile cerca de un 0,3% [4] de los niños menores de 5 años presentan desnutrición aguda. Luego, suponiendo que los infantes que sufren desnutrición aguda se distribuyen homogéneamente en este rango etario, el número de niños con problemas de desnutrición en el país es:

$$niños_{desnutridos} = 1.126.372 \cdot \frac{0,3}{100} = 3380\ niños \quad (3)$$

Considerando que la tasa de natalidad en los últimos 4 años se ha mantenido constante se puede suponer que los grupos etarios considerados en el problema se encuentran divididos uniformemente, luego la distribución de niños según edad vendrá dada por:

$$Niños\ 6\ meses \rightarrow 12\ meses = 3.380 \cdot \frac{1}{9} = 376\ niños \quad (4)$$

$$Niños\ 1\ año \rightarrow 2\ años = 3.380 \cdot \frac{4}{9} = 1502\ niños \quad (5)$$

$$Niños\ 3\ año \rightarrow 4\ años = 3.380 \cdot \frac{4}{9} = 1502\ niños \quad (6)$$

Cabe destacar que se ha considerado que los niños entre 6 y 12 meses corresponden a un noveno de la población total ya que los otros grupos consideran el efecto de dos años consecutivos, lo que genera una proporción 1:4:4.

4.2.2. Cantidad de nutrientes necesaria

La cantidad de nutrientes requeridos para cumplir la producción mensual vendrá dada por:

$$Nut_{día} = Nut_{grupo\ 1} \cdot 376 + Nut_{grupo\ 2} \cdot 1502 + Nut_{grupo\ 3} \cdot 1502 \quad (7)$$

Donde Nut_{grupo} corresponde a los nutrientes requeridos por alguno de los grupos etarios considerados

$$Nutriente_{mes} = Nutriente_{dia} \cdot 30 \quad (8)$$

Donde Cantidad nutriente corresponde al requerimiento diario de dicho nutriente para un niño de un determinado grupo etario. A partir de los datos presentes en la Tabla 2 y 3 y la distribución de niños se obtienen los datos que se muestran a continuación en la Tabla 4.

Nutriente	Total [kg/mes]
Proteinas	1566,0
Lipidos	3267,3
Carbohidratos	12787,2
Vitamina A	0,0361
Vitamina D	0,0006
Vitamina E	0,642
Vitamina C	2,366
Vitamina B1	0,053
Vitamina B2	0,054
Vitamina B3	0,676
Vitamina B5	0,246
Vitamina B6	0,062
Vitamina B7	0,001
Vitamina B9	3,718
Vitamina B12	0,0001
Vitamina K	0,004
Calcio	61,62
Sodio	103,31
Potasio	314,30
Magnesio	10,31
Hierro	0,89
Cobre	0,04
Zinc	0,39
Fosforo	46,36
Yodo	9,58
Fibra	1982,64

Tabla 4: Total de nutrientes necesarios.

4.3. Descartes a utilizar

4.3.1. Descartes producidos en un año

A continuación, en la Tabla 5 se muestra los descartes que pudieron ser cuantificados durante la búsqueda bibliográfica, es necesario destacar que la columna de principal contenido nutricional indica el nutriente que se encuentra en mayor proporción [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18].

Descarte	Cantidad	Principal Contenido nutricional
Tomate	18.000 [ton] al año	Vitaminas y minerales
Restos de salmón	146 [ton] al año	Proteínas, lípidos y minerales
Arándanos	1.100 [ton] al año	Fibra y vitaminas
Frambuesas	90 [ton] al año	Fibra y vitaminas
Levadura	36 [g] por barril de cerveza producido	Proteínas, lípidos y minerales
Papa	14.624,79 [ton] al año	Carbohidratos

Tabla 5: Cuantificación de descartes anuales

En base a los datos presentes en la tabla anterior, y en función de las composiciones de cada uno de los descartes, se elige utilizar tomate dado que posee una alta variedad de nutrientes en comparación al arándano, la frambuesa y la levadura, además existe una mayor cantidad de materia prima disponible, lo cual facilitaría alcanzar la cantidad requerida de cada nutriente.

En una primera instancia, la planta se ubicaba en la región de los Lagos debido a la alta disponibilidad de la industria salmonera y de arándanos, sin embargo, en esta región existe una baja producción de tomate. Dado que el proceso requiere una gran cantidad de esta materia prima se traslada la ubicación de la planta a la región de la Araucanía para reducir el costo de transporte del descarte, cabe destacar que esta región posee una alta producción de tomate y a su vez posee un gran número de empresas dedicadas a la comercialización del salmón.

Se mantiene la elección del salmón como descarte dado que posee un alto aporte de lípidos y proteínas, si bien existen otras alternativas para la extracción de lípidos como los descartes de manzanas, estos no se encuentran disponibles ya que son procesados para la producción de jugos y mermeladas. Por otra parte, se utilizarán los descartes de papa para la extracción de carbohidratos, dado que esta materia prima posee un alto porcentaje de este nutriente.

4.3.2. Cuantificación de descartes disponibles

La región de la Araucanía genera cerca de un 29 % de la producción total de papas a nivel nacional [19] [20], luego se supone que los descartes disponibles en esta región corresponderán al 29 % de los descartes producidos a nivel nacional, lo cual equivale a 42.411, 89 [ton] de papa al año [21].

En Chile se producen 18.000 [ton] de descarte de tomates al año, y la región de la Araucanía comprende un 6 % de la producción nacional de tomate. Luego, utilizando el mismo supuesto anterior, se asumirá que el descarte disponible es igual al 6 % de la producción nacional, lo cual equivale a 1080 [ton] de tomate por año.

En un año se producen 146 [ton] de descartes de salmón, los que contienen una composición de un 61 % de cabezas y vísceras del pez, mientras que un 29 % corresponden restos de huesos de pescado. En vista de lo anterior, se supone que los descarte que ingresarán a la planta corresponden a restos de vísceras y cabezas de salmón, lo cual equivale a un 61 % de la producción anual, es decir, alrededor 89,06 [ton] de descarte.

En caso de existir un deficit en el contenido de lípidos del alimento, se comprará linaza para poder cubrir dicha diferencia. Se selecciona esta semilla porque posee un alto contenido de lípidos en comparación a otras alternativas, como la manzana u otras semillas. Cabe destacar que la linaza posee ácidos grasos insaturados, que tienen un alto valor nutricional.

A continuación, en la Tabla 6 se resumen los descartes disponibles en un mes, y en la Tabla 7 se muestra la composición de cada uno de estos descartes.

Descarte	Cantidad Disponible [año]	Cantidad Disponible [mes]
Tomate	1.080 [ton]	90.000 [kg]
Restos de salmón	89,06 [ton]	7.421 [kg]
Papa	42.411,89 [ton]	35.343.324 [kg]

Tabla 6: Descartes mensuales de producto

	Salmón	Tomate	Papa	Linaza
Nutriente	Cantidad cada 100 [g]	Cantidad cada 150 [g]	Cantidad cada 100 [g]	Cantidad cada 100 [g]
Proteínas	18,40 [g]	1,40 [g]	1,87 [g]	19,90 [g]
Lípidos	12,00 [g]	0,20 [g]	0,10 [g]	37,40 [g]
Carbohidratos	-	4,90 [g]	20,13 [g]	7,20 [g]
Vitamina A	13,00 [μg]	116 [μg]	-	-
Vitamina D	8,00 [μg]	-	-	-
Vitamina E	2,00 [μg]	1,70 [mg]	-	-
Vitamina C	-	36,70 [mg]	13,00 [mg]	-
Vitamina B1	-	0,08 [mg]	0,11 [mg]	-
Vitamina B2	-	0,06 [mg]	0,02 [mg]	-
Vitamina B3	-	1,10 [mg]	1,44 [mg]	-
Vitamina B5	-	-	-	-
Vitamina B6	0,75 [mg]	0,16 [mg]	-	-
Vitamina B7	-	-	-	-
Vitamina B9	-	39,5 [μg]	-	-
Vitamina B12	-	-	-	-
Vitamina K	-	-	-	-
Calcio	27,00 [mg]	15,50 [mg]	5,00 [mg]	-
Sodio	98,00 [mg]	4,20 [mg]	-	-
Potasio	310,00 [mg]	409,00 [mg]	379,00 [mg]	-
Magnesio	26,00 [mg]	14,10 [mg]	-	-
Hierro	0,70 [mg]	0,80 [mg]	0,31 [mg]	-
Cobre	-	-	-	-
Zinc	0,80 [mg]	0,30 [mg]	-	-
Fósforo	250 [mg]	38,10 [mg]	44,00 [mg]	-
Yodo	28,30 [μg]	9,9 [mg]	-	-
Fibra	-	2,00 [g]	1,80 [g]	25,20 [g]

Tabla 7: Composición nutricional de los descartes.

4.3.3. Elección de las cantidades de descartes a utilizar

Tal como se puede observar en la Tabla 7 los descartes disponibles poseen distinta composición nutricional, por lo tanto es necesario definir en que proporción será utilizado cada uno de ellos para poder entregar un alimento que cumple con los requerimientos de nutrientes presentes en las Tablas 2 y 3.

En vista de lo anterior, se realiza una optimización en Matlab para minimizar los descartes a utilizar en el proceso sujeto a las restricciones nutricionales que debe contener el elemento. El problema de optimización lineal queda definido por:

$$\min f(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \quad (9)$$

Sujeto a:

$$A \cdot x = b \quad (10)$$

con:

$$0 \leq x \leq ul \quad (11)$$

Donde x_1 corresponde al descarte de tomate, x_2 corresponde al de la papa, x_3 el salmón y x_4 a la linaza a utilizar. Por otra parte la matriz A consiste en la composición nutricional de cada materia prima mientras que "b" contiene la cantidad requerida de cada nutriente para mantener la producción mensual, es decir, la información presenta en la Tabla 4. Cabe destacar que al momento de realizar la optimización se considero que el proceso de extracción de aceites desde la linaza posee una eficiencia del 34 % y que a la papa se le extrae un 80 % de la proteína presente en su interior.

El vector "x" se encuentra acotado inferiormente por cero, dado que no tiene sentido utilizar una cantidad negativa de descartes, a su vez el vector "ul" contiene los descartes disponibles en cada mes.

Luego de ejecutar el código del programa se obtienen los resultados presentes en la Tabla 8, se puede observar que no es necesario utilizar los descartes de tomate dado que su aporte nutricional puede ser suplido por una mayor cantidad de papa y salmon, a su vez, es necesario utilizar linaza con tal de poder cumplir el requerimiento de lípidos.

Materia Prima	Cantidad a utilizar por mes [kg]
Tomate	0
Restos de Salmon	7.220
Papa	63.523
Linaza	18.376

Tabla 8: Materias primas a utilizar.

4.4. Equipos Dimensionados

4.4.1. Molino de bolas

El proceso consta de una etapa de molienda, la cual considero un molino de bolas para realizar su balance de masa y utilización de ecuaciones de diseño conocidas.

En la Figura 2 se presentan los flujos de entrada y salida del molino a dimensionar junto con sus respectivas composiciones de entrada.

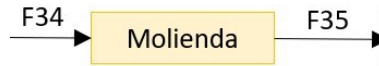


Figura 2: Esquema de flujos de entrada y salida del equipo de molienda.

Descripción y justificación del equipo

Un molino de bolas corresponde a un equipo utilizado para el rompimiento de células y tejidos con el fin de liberar el contenido citoplasmático de estos. Su funcionamiento se debe principalmente al efecto abrasivo de bolas que se encuentran en su interior y a la fragilidad de las paredes y membranas celulares a los esfuerzos de corte [22].

El proceso productivo al ser extractivo necesita aumentar el área de contacto de sus materias primas para mejorar la extracción de componentes, es por ello por lo que es fundamental una etapa de triturado o conminución. Si bien no es el mejor equipo para realizar esto, sí se encuentra descrita su dinámica y ecuaciones de diseño lo que permite diseñarlo.

Balance Global

$$F_{34} = F_{35} \quad (12)$$

$$Papa\ cortada_{F_{34}} = Papa\ molid_{F_{35}} \quad (13)$$

Ecuación de Diseño

El equipo suele operarse a los flujos más alto que este pueda recibir y de esta manera variará su volumen. En general, un aspecto para decidir su tamaño es la transferencia de calor, pero dado que el material que se desea recuperar no importa su estado se obvia esta restricción. Siendo el principal diseño el tiempo de retención dentro del molino, ecuación que viene dada por [23]:

$$V_m \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{R}{R_{m\acute{a}x}}} \right) = V_m \cdot k \cdot t \quad (14)$$

Es decir:

$$\ln \left(\frac{1}{1 - \frac{R}{R_{m\acute{a}x}}} \right) = k \cdot t \quad (15)$$

Además k puede expresarse como un polinomio asociado a la biomasa seca por unidad de volumen, cuya ecuación es:

$$k = a_1 \cdot S^2 + a_2 \cdot S + a_3 \quad (16)$$

El parámetro S se calcula como:

$$S = dw_t \quad (17)$$

Los parámetros de las ecuaciones corresponden a:

Parámetro	Nombre	Unidad
V_m	Volumen del molino	[L]
R	Número de células rotas hasta el momento	-
$R_{m\acute{a}x}$	Número de células que se puede romper	-
k	Constante cinética del rompimiento celular	[1/s]
t	Tiempo	[s]
a_1	Constante experimental	[]
a_2	Constante experimental	[]
a_3	Constante experimental	[]
S	Biomasa seca por unidad de volumen	[g _{seco} /cm ³]

Tabla 9: Parámetros para el diseño de un molino de bolas.

Datos y supuestos utilizados

En la Tabla 10 se muestran los principales supuestos y datos.

Símbolo	Parámetro o consideración	Unidad	Valor
ρ_p	Densidad Papa	[kg/m ³]	760
ρ_{agua}	Densidad Agua	[kg/m ³]	1000
a_1	Constante experimental	[]	0,003507
a_2	Constante experimental	[]	0,00707
a_3	Constante experimental	[]	0,0088
dw_p	Porcentaje de peso seco de la papa	[%]	0,76

Tabla 10: Suuestos tomados para el diseño.

Para el dimensionamiento del equipo se realizan los siguientes supuestos.

- El homogeneizador de bolas funcionará como homogeneizador, independientemente si se forme una pasta densa con los tejidos.
- Los modelos planteados para células en suspensión se ajustan a las en tejidos, donde el contenido de agua viene dado por el que se encuentra en su interior.
- Se impone un rompimiento celular de 0,95 para la papa.

- La disponibilidad de papa es todo el año, por lo que puede procesarse todo el año.
- El molino encontrado en bibliografía es escalable manteniendo las proporciones de su geometría y los parámetros de operación (velocidad de giro, cantidad y diámetro de las bolas)[24].

Parámetro	Valor
Diámetro/Diámetro _{agitador}	0,825
Largo/Diámetro	0,4

Tabla 11: Relaciones para el diseño del molino.

- Los volúmenes de los molinos se encuentran entre 1,4 a 150 [L] [25]. Se escoge un volumen de 100 [L].

Resultados

Dado un flujo volumétrico de 2786,1[L] es posible calcular los siguientes resultados:

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
N° Pasadas	N _p	140	[]
Biomasa seca	S	0,152	[]
Constante cinética	k	0,010	[1/s]
Tiempo de operación	t	300,907	[s]
Largo	L	0,273	[m]
Diámetro	t	0,683	[m]
Diámetro agitador	D _a	0,563	[m]

Tabla 12: Dimensionamiento del molino.

Discusión

No corresponde al equipo óptimo para realizar el trabajo, pero su proceso es altamente conocido al igual que las ecuaciones que modelan su funcionamiento. Dentro de los supuestos más fuertes se encuentran que es escalable manteniendo la geometría del utilizado en bibliografía [24] y que la constante cinética de rompimiento puede moledarse al igual que las de un cultivo de levaduras. Esto ocasiona que el molino sea diseñado para una suspensión concentrada en vez de una pasta que tendería a formar la papa, afectando el correcto funcionamiento.

4.4.2. Intercambiador de calor

A continuación en la Figura 3 se muestran los flujos de entrada y salida del intercambiador de calor

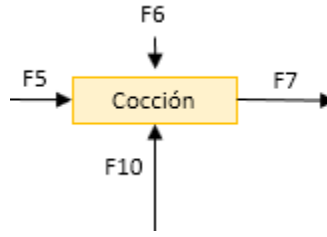


Figura 3: Esquema con flujos del intercambiador de calor

Descripción y justificación del equipo

Se realiza un proceso de cocción del salmón con dos objetivos: El primero es facilitar la separación de la carne de los huesos mientras que el segundo consiste en esterilizar el salmón que se utilizará en el proceso. Para poder alcanzar las temperaturas de cocción, es necesario utilizar un intercambiador de calor, este consiste en una tubería cilíndrica de metal por la cual circula aire caliente en su interior, la construcción del equipo permite que exista una transferencia de energía hacia el líquido presente en el interior del reactor en donde se instala el intercambiador.

Balance de masa global

$$F_5 + F_6 + F_{10} = F_{11} \quad (18)$$

Ecuación de diseño

El parametro a dimensionar consiste en el área de transferencia de calor, la cual se puede calcular segun la ecuación de diseño que se presenta a continuación:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m = m \cdot C_p \cdot (T - T_e) \quad (19)$$

donde:

$$\Delta T_m = \frac{T - T_e}{\ln\left(\frac{T_s - T_e}{T_s - T_t}\right)} \quad (20)$$

Los parámetros de las ecuaciones anteriores corresponden a:

Simbolo	Parámetro	Unidad
Q	Tasa de transferencia de calor	[W]
U	Coefficiente global de transferencia de calor	[W/(m ² · K)]
A	Area de transferencia de calor	[m ²]
ΔT_M	Diferencia de temperatura en media logaritmica	[°C]
T	Temperatura de salida del liquido	[°C]
T _e	Temperatura de entrada del liquido	[°C]
T _s	Temperatura del steam que circula por el interior del intercambiador	[°C]
m	Flujo masico de salmon	[kg/s]
C _p	Calor especifico de la solución a calentar	[kJ/(kg · K)]

Tabla 13: Parámetros utilizados para el dimensionamiento del intercambiador

Datos y supuestos utilizados

Para el dimensionamiento del equipo se utilizaron los siguientes supuestos:

- El agua utilizada para la cocción se encuentra en una proporción 1:1 con respecto a la masa de salmon a la entrada del equipo
- La temperatura de entra del salmon es de 15 [°C] mientras que su temperatura de salida es de 95 [°C]
- El equipo opera de forma batch durante un tiempo de 30 minutos [26].
- El coeficiente de transferencia global de calor U posee un valor de 400 $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$. Este parámetro se obtiene por bibliografía y corresponde al de un intercambiador para un flujo de agua calentado por vapor de agua [?].
- La temperatura del vapor que circula por el intercambiador de calor es de 100 [°C] y se mantiene constante durante todo el proceso.
- El calor especifico de la solución de agua y salmón se calcula como un promedio de los calores especificos de ambas especies, tal como se muestra a continuación en la ecuación 21

$$C_p = \frac{4190 + 3484}{2} = 3837 \left[\frac{J}{kg \cdot K}\right] \quad (21)$$

Despejando el área de transferencia de la ecuación 19 se obtiene la siguiente ecuación:

$$Área = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{U \cdot \Delta T_M} \quad (22)$$

Resultados

Considerando un flujo de salmon diario de 240,67 [kg] y los datos presentados anteriormente, se obtienen los resultados que se muestran a continuación en la Tabla 14

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Masa de salmón en la entrada	$M_{salmón}$	240,67	[kg]
Masa de agua en la entrada	M_{agua}	240,67	[kg]
Masa total por batch	M_{Total}	481,33	[kg]
Diferencia de temperatura logarítmica	ΔT_M	28,24	[°C]
Área del intercambiador	Área	3,63	[m ²]

Tabla 14: Resultados del dimensionamiento del intercambiador de calor.

Discusión

El tomar coeficientes de transferencias de calor y calores específicos constantes permiten hacer un acercamiento al modelo del equipo. No obstante, la representación no es fiel a la realidad pues el coeficiente U fue tomado de bibliografía y no calculado dada la geometría del sistema. Las dimensiones obtenidas no presentan problemas.

Por otra parte, la etapa de cocción permite esterilizar el descarte. Correspondiendo un ahorro en la maquinaria y costos de la planta.

4.4.3. Deshuesador

En la Figura 4 se puede apreciar un esquema de los flujos del equipo y en la Figura 5 la geometría que este posee.

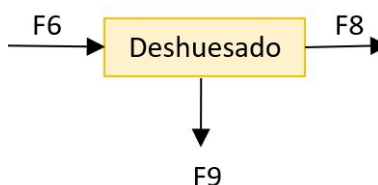


Figura 4: Esquema de flujos de entrada y salida del equipo.

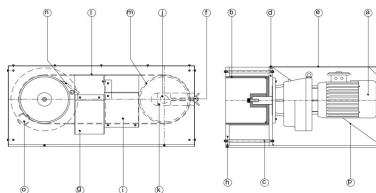


Figura 5: Geometría del equipo.

Descripción y justificación del equipo

La separación de la carne de pescado es uno de los procesos claves en la producción de alimentos procesados de origen piscícola. Es por ello que se han destinado recursos para investigar y diseñar

equipos capaces de automatizar el proceso. En particular, se escoge el equipo porque permite separar las grandes espinas del pescado con un proceso físico relativamente sencillo, como lo es el paso por poros en tambores rotatorios [27].

Existen procesos complementarios al descrito anteriormente, estos son mencionados a continuación [27].

- **Separación manual:** Este proceso consiste en un operador separando manualmente el espinazo del pescado. Es descartado, por su falta de higiene, elevado costo y tiempo de operación.
- **Extracción química:** Utilizando ácidos, bases y/o enzimas la carne se separa de los huesos, pero aparte la proteína es degradada por las condiciones de operación. Otro problema que presenta es la eliminación de los compuestos agregados.
- **Tratamiento enzimático:** Proceso similar al anterior, pero basado esencialmente en la actividad enzimática. La principal desventaja está dada si no se inactiva correctamente las enzimas, lo que conlleva a la hidrólisis de la carne.
- **Tratamiento térmico:** Consiste en la cocción de la carne para hacerla más fácil de separar, pero también trae consigo cambios de textura en el alimento.

Balance de Masa

A partir de la Figura 4 se realiza el balance de masa para el equipo, donde las principales especies involucradas son la carne del salmón (y sus contenidos) y los huesos.

Balance Global

$$F_6 = F_8 + F_9 \quad (23)$$

$$Salmón\ entero_{F_6} + Agua_{F_6} = Salmón_{F_8} + Agua_{F_8} + Huesos_{F_9} \quad (24)$$

Balance por Especie

$$Carne\ salmón_{F_6} = Carne\ salmón_{F_8} \quad (25)$$

$$Agua_{F_6} = Agua_{F_8} \quad (26)$$

$$Huesos_{F_6} = Huesos_{F_9} \quad (27)$$

Y se cumple que:

$$Huesos_{F_6} = 0,1 \cdot Salmón\ entero_{F_6} \quad (28)$$

Ecuación de Diseño

El dimensionamiento del equipo consiste en determinar el diámetro del tambor interno y externo y el número de perforaciones que debe tener el tambor. Dadas algunas consideraciones que se exponen posteriormente las ecuaciones vienen dadas por:

$$(29)$$

$$n = \frac{V_{pescado}}{V_{poros}} \quad (30)$$

Donde:

$$V_{poros} = \frac{\pi}{4} \cdot d_p^2 \cdot \epsilon \quad (31)$$

Los parámetros de las ecuaciones corresponden a:

Parámetro	Nombre	Unidad
n	Número de poros	-
$V_{pescado}$	Volumen del filete de pescado	[m ³]
V_{poros}	Volumen total de los poros	[m ³]
d_p	Diámetro poros	[m]
ϵ	Grosor del tambor	[m]

Tabla 15: Parámetros utilizados para el dimensionamiento del deshuesador.

Datos y supuestos utilizados

En la Tabla 16 se muestran los principales datos y consideraciones para dimensionar el deshuesador [27].

Símbolo	Parámetro o consideración	Unidad	Valor
$F_{pescado}$	Flujo másico de pescado	[kg/día]	481,33
$F_{casobase}$	Flujo másico de pescado	[kg/hr]	70
L	Largo de tambores	[m]	1
$V_{pescado}$	Volumen del filete de pescado	[m ³]	$9,66 \cdot 10^{-5}$
d_1	Diámetro interno	[m]	0,212
d_2	Diámetro externo	[m]	0,2
d_p	Diámetro poros	[m]	$2,5 \cdot 10^{-3}$
ϵ	Grosor del tambor	[m]	0,006

Tabla 16: Datos usados para el deshuesador.

Los principales supuestos:

- Se asume una separación del 100 %, puesto a que los salmones tienen espinazos más grandes que los pescados estudiados.
- Las dimensiones de los residuos de salmón son similares al de la caballa (*Mackerel*).
- Operación del equipo similar al descrito en bibliografía [27].
- Proceso escalable y proporcional a la diferencia de volúmenes de tambores, manteniendo la diferencia de radios.
- Los descartes de salmón posee un 10 % de su peso en huesos.

Resultados

Se presentan los resultados en la siguiente tabla:

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
N° Poros	n	3280	□
Tiempo de operación	t	7	[hr]

Tabla 17: Resultados para el diseño del deshuesador

Discusión

El equipo corresponde a unos ocupados en la industria del surimi [28]. Se mantienen las dimensiones de la bibliografía [27] pero se modifican los números de poros que tienen los tambores dado que el volumen del pescado es distinto. El principal supuesto utilizado en el proceso corresponde a la eliminación completa de huesos, pues los salmones poseen un espinazo más grande y continuo que las especies estudiadas para el equipo. Este supuesto permite evitar un proceso de separación de huesos posterior, para asegurar la calidad del producto.

4.4.4. Tornillo extrusor

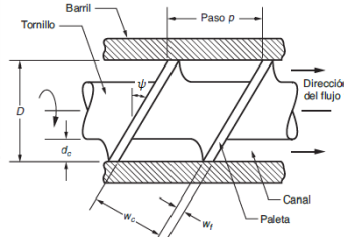


Figura 6: Esquema del tornillo extrusor.

Descripción y justificación del equipo

El tornillo extrusor es utilizado para la extracción de aceite de la semilla de linaza operando de manera continua. La temperatura de operación no supera los 45°C, lo que representa la mayor ventaja de la utilización de este equipo si se tiene en cuenta que el aceite disminuye su valor alimenticio al superar los 50 [°C].

Balance de Masa Global

$$Linaza_{in} = Linaza_{out} + \text{lípidos} \quad (32)$$

Ecuaciones de diseño

El dimensionamiento del equipo consiste en determinar el largo y diámetro medio del tornillo. Para el caso del diámetro, se debe cumplir que el esfuerzo (σ) es menor a la resistencia de tensión del material (S_{ut}) [29].

$$\sigma < S_{ut} \quad (33)$$

donde:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (34)$$

A su vez la fuerza total aplicada (F) depende de:

$$F = M_s \cdot F_s \quad (35)$$

El área del tornillo viene dada por:

$$A = \pi \cdot \frac{(D_m)^2}{4} \quad (36)$$

Para poder cumplir la condición de diseño, se utiliza un factor de seguridad, de manera que:

$$f \cdot \sigma = S_{ut} \quad (37)$$

Despejando el Diametro de la ecuaciones anteriores se obtiene:

$$D_m = \sqrt{\frac{4 \cdot f \cdot F_s \cdot m_s}{\pi \cdot S_{ut}}} \quad (38)$$

La cual corresponde a la ecuación de diseño del tornillo extrusor. Para calcular el largo del tornillo se considera que el equipo posee una columna corta donde se debe cumplir que [30]:

$$R_e < C_c \quad (39)$$

La relación de esbeltez (Re) se define como:

$$R_e = K \cdot \frac{L}{r} \quad (40)$$

Mientras que la constante de columna (Cc) viene dada por:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}} \quad (41)$$

Nuevamente se considera un factor de seguridad, de manera que:

$$f \cdot R_e = C_c \quad (42)$$

Despejando el largo de la columna, se obtiene :

$$L = \frac{C_c \cdot D_m}{2 \cdot f \cdot K} \quad (43)$$

A continuación en la Tabla 18 se detallan los parámetros utilizados en las ecuaciones anteriores y sus respectivas unidades.

Símbolo	Parámetro	Unidad
σ	Esfuerzo del material	$[\frac{N}{m^2}]$
S_{ut}	Resistencia a tensión del acero	[Pa]
m	Flujo másico de semillas	$[\frac{kg}{h}]$
F_s	Fuerza de ruptura de semilla por flujo	$[\frac{N}{kg/h}]$
D_m	Diámetro del tornillo	[m]
f	Factor de seguridad	[]
K	Constante de empotramiento	$[\frac{N}{m^2}]$
L	Longitud de columna	[m]
S_y	Resistencia a la torsión acero	[Pa]
E	Módulo de elasticidad acero	[Pa]
r	Radio de la columna	[m]

Tabla 18: Parámetros usados para el diseño del tornillo.

Supuestos y datos utilizados

En la Tabla 19 se detallan los datos utilizados para dimensionar el equipo.

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
E	Módulo de elasticidad acero	[Pa]	187500000
S_y	Resistencia a torsión del acero	[Pa]	276000
S_{ut}	Resistencia a tensión del acero	[Pa]	568000
k	Factor de empotramiento	2,1	
F_s	Fuerza de ruptura de semilla por flujo	607	$[\frac{N}{kg/h}]$
f	Factor de seguridad	3	[]

Tabla 19: Datos usados para el dimensionamiento del tornillo.

Dentro de los principales supuestos utilizados para dimensionar el equipo se encuentran:

- Se utilizaron los datos bibliográficos de la semilla Sacha inchi para modelar el comportamiento de la linaza al interior del tornillo extrusor [31].
- Se consideró una eficiencia de extracción de un 34 %, la cual se determina bibliográficamente [31].
- Se utiliza un factor de seguridad igual a 3 [32].

Resultados

Considerando un flujo másico de linaza de $612,54 [\frac{kg}{dia}]$ y un tiempo de operación de 15 horas y a partir de los datos presentes en la Tabla 19 y las ecuaciones 38 y 43 se obtienen los resultados que se muestran a continuación en la Tabla 20.

Símbolo	Descripción	Magnitud	Unidad
m_s	Flujo másico de semilla	40,8	[kg/h]
F	Fuerza total	24795	[N]
C_s	Constante de columna	116	-
Dm	Diámetro medio del tornillo	0,41	[m]
L	Longitud del tornillo	3,75	[m]

Tabla 20: Resultados del dimensionamiento del tornillo.

Discusión

La extracción de aceites a través de semillas es una de las principales etapas para cumplir los requerimientos nutricionales. Para ello, se usa el tornillo extrusor, que extrae de manera física los aceites.

El supuesto más fuerte es la fuerza de ruptura de la semilla de linaza, ya que se consideró que es equivalente a la de una semilla que es más de 10 veces más grande que esta (*Plukenetia volubilis*). Por lo tanto, se estima que el tornillo se encuentra sobredimensionado, al considerar que la semilla más grande debe ser más dura.

4.4.5. Filtro

En la Figura 7 se puede apreciar un esquema de los flujos del equipo.

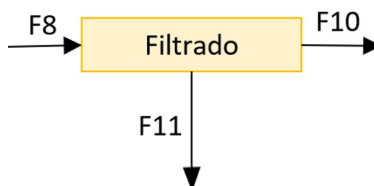


Figura 7: Esquema de flujos de entrada y salida del equipo.

Descripción y justificación del equipo

La cantidad de agua presente en la línea de procesamiento hace que los equipos deban ser de mayor tamaño y encarecen la producción. Es por ello que es necesaria la eliminación parcial de ella. El filtro corresponde a una opción barata para la recuperación del caldo de cocción y su recirculación al proceso, y la separación de la fracción sólida. Operando de manera batch, este equipo logra cumplir con las metas de producción diarias.

Balance de Masa

Desde la Figura 7 se realiza el balance de masa para el equipo.

Balance Global

$$F_8 = F_{10} + F_{11} \quad (44)$$

$$Carne\ salm\acute{o}n_{F_8} + Agua_{F_8} = Carne\ salm\acute{o}n_{F_{10}} + Agua_{F_{10}} + Agua_{F_{11}} \quad (45)$$

Balance por Especie

$$Carne\ salm\acute{o}n_{F_8} = Carne\ salm\acute{o}n_{F_{10}} + Agua_{F_8} = Agua_{F_{10}} + Agua_{F_{11}} \quad (46)$$

Ecuación de Diseño

El dimensionamiento del equipo consiste en encontrar una relación entre el área y el tiempo de filtrado, para finalmente fijar una de las variables. La ecuación del diseño del equipo viene dada por [33]:

$$\frac{t}{\frac{V}{A}} = \frac{1}{J_W} + \frac{\mu \cdot R_c}{2 \cdot \Delta P} \cdot \frac{V}{A} \quad (47)$$

Tomando:

$$J_W = \frac{F_W}{A} \quad (48)$$

Resulta en:

$$A = \sqrt{\frac{\mu \cdot R_c}{2 \cdot \Delta P} \cdot V \cdot \left(\frac{t}{V} - \frac{1}{F_W} \right)^{-1}} \quad (49)$$

Donde los parámetros de la ecuación corresponden a:

Parámetro	Nombre	Unidad
A	Área	[m ²]
μ	Viscosidad	[Pa · s]
R_c	Resistencia de la torta	[1/m]
ΔP	Caída de Presión	[Pa]
V	Volumen filtrado	[m ³]
t	Tiempo	[s]
F_W	Flujo de agua	[m ³ /s]

Tabla 21: Parámetros usados para la filtración.

Datos y supuestos utilizados

En la Tabla 22 se muestran los principales datos y supuestos a utilizar para el dimensionamiento [?].

Símbolo	Parámetro o consideración	Unidad	Valor
R_c	Resistencia de la torta	[1/m]	$0,8 \cdot 10^{10}$
μ	Viscosidad de la solución	[Pa · s]	0,1
ΔP	Caída de Presión	[kPa]	100
t	Tiempo de operación	[s]	3600
V	Volumen filtrado	[m ³]	0,457
F_W	Flujo de agua	[m ³ /s]	0,0013

Tabla 22: Datos usados para el dimensionamiento del filto.

Los principales supuestos son:

- Resistencia de la torta es equivalente a la de un cultivo de *S. pristinaespiralis* con 7 horas de tratamiento de acidificación.
- La presión en la membrana es constante y equivale a 100 [kPa].
- La viscosidad del caldo es la misma que la del agua.
- La resistencia de la membrana es despreciable comparada a la de la torta.
- El tiempo de operación estará en función de las etapas del proceso que colindan.
- La eficiencia de separación es del 100 %.

Resultados

Se obtiene un área de filtrado de 0,5 [m^2]

Discusión

Para el dimensionamiento del filtro se toma como supuesto los términos asociados a las resistencias de membrana y torta. Lo que resulta en un subdimensionamiento, pues los parámetros utilizados corresponden a cultivos de microorganismos cuya solución es menos densa que la del caldo del salmón. Es esperable que el filtro real deba ser de mayor área y operar a presiones mayores.

4.4.6. Laguna aireada

A continuación, en la Figura 8 se detallan los flujos de entrada y salida de la laguna aireada.

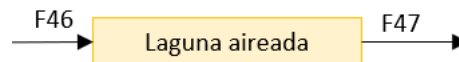


Figura 8: Esquema de flujos de entrada y salida de la laguna aireada

Descripción y justificación del equipo

Una laguna aireada consiste en un reactor aerobio agitado que cuenta con aireadores mecánicos que suministran oxígeno para alcanzar una elevada tasa de degradación orgánica. La aireación mecánica mejora la eficiencia del tratamiento y reduce el tiempo de retención hidráulico para necesario para la degradación aerobia de la materia orgánica [34].

Balance de Masa

El balance de masa está dado por:

$$F_{46} = F_{47} \quad (50)$$

$$AguaRiles_{F_{46}} = AguaTratada_{F_{47}} \quad (51)$$

Ecuación de Diseño

El dimensionamiento del equipo consiste en determinar el tiempo de residencia de la materia orgánica-

nica en la laguna. La ecuación de diseño está dada por:

$$C_o = \frac{C_n}{\left[1 + \frac{k}{n}\right]^n} \quad (52)$$

Donde los parámetros de la ecuación corresponden a:

Parámetro	Nombre	Unidad
C_n	Concentración de DBO5 de salida	[mg/L]
C_o	Concentración de DBO5 de entrada	[mg/L]
n	Número de estanques en serie	[-]
k	Constante de velocidad de reacción	[1/día]
t	Tiempo de residencia	[día]

Tabla 23: Parámetros de las ecuaciones de dimensionamiento de la laguna aireada

Despejando el tiempo de residencia se obtiene:

$$t = \frac{n}{k} \cdot \left[\left(\frac{C_o}{C_n} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad (53)$$

Luego, el volumen de la laguna (V) estará dado por el tiempo de residencia calculado (t) y el caudal (Q) de agua tratada, según la siguiente ecuación:

$$V = t \cdot Q \quad (54)$$

Datos y supuestos utilizados

En la Tabla 24 se muestran los principales datos y supuestos a utilizar para el dimensionamiento.

Símbolo	Parámetro o consideración	Unidad	valor
C_n	Concentración de DBO5 de salida	[mg/L]	35,0
C_o	Concentración de DBO5 de entrada	[mg/L]	956,52
n	Número de estanques en serie	[-]	3
k_{20}	Constante de velocidad de reacción a 20°C	[1/día]	0,28
θ	Coefficiente de ajuste de temperatura	[-]	1,04
T	Temperatura del agua	[°C]	15
k	Constante de velocidad de reacción. $k = k_{20} \cdot \theta^{(T-20)}$	[1/día]	0,23
Q	Flujo de entrada	[L/día]	

Tabla 24: Valor de parámetros utilizados en dimensionamiento de la laguna aireada

Los principales supuestos son:

- El coeficiente de corrección por temperatura se asume igual al de los residuos domésticos [34].

- Se supone una temperatura promedio del agua de 12°C dada la localización de la planta (Región de la Araucanía) [35]
- Se asume la carga orgánica del efluente similar a la de efluentes de lavado de zanahorias, la cual es obtenida por bibliografía [36].
- Se considera el diseño con 3 celdas en serie del mismo volumen, debido a que es la configuración más común. Al igual que la razón largo: ancho = 3:1 , y una profundidad fija de 2 metros dada por bibliografía [34].

Resultados

Los principales resultados son resumidos en la Tabla 25.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Volumen Total	V	193	[m ³]
Tiempo de Residencia	t	29,5	[días]
N° de lagunas	N	3	[]
Volumen de laguna	V_{lag}	64,17	[m ³]
Largo	L	9,81	[m]
Ancho	W	3,27	[m]
Profundidad	H	2	[m]

Tabla 25: Resultados dimensionamiento de Laguna Aireada.

Los valores calculados para el tiempo de residencia y volumen se encuentran en el rango de lo encontrado en bibliografía [34].

Discusión

La reducción de la DBO5 es llevada a cabo en su totalidad en la laguna aireada, es de vital importancia que este proceso sea bien dimensionado y cumpla con la norma para evitar multas y daños medioambientales a recursos acuiferos. Es por ello que el principal supuesto es la DBO con que ingresa el agua al tratamiento, asumiendo igual para todas las aguas de lavado. Probablemente el resultado este subdimensionado y la solución sea aumentar el tiempo que se mantiene en la laguna.

4.4.7. Secador rotatorio

Siguientemente, en la Figura 9 se detallan los flujos de entrada y salida del secador rotatorio

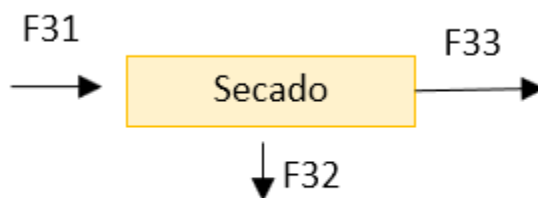


Figura 9: Esquema de los flujos del ecador rotatorio

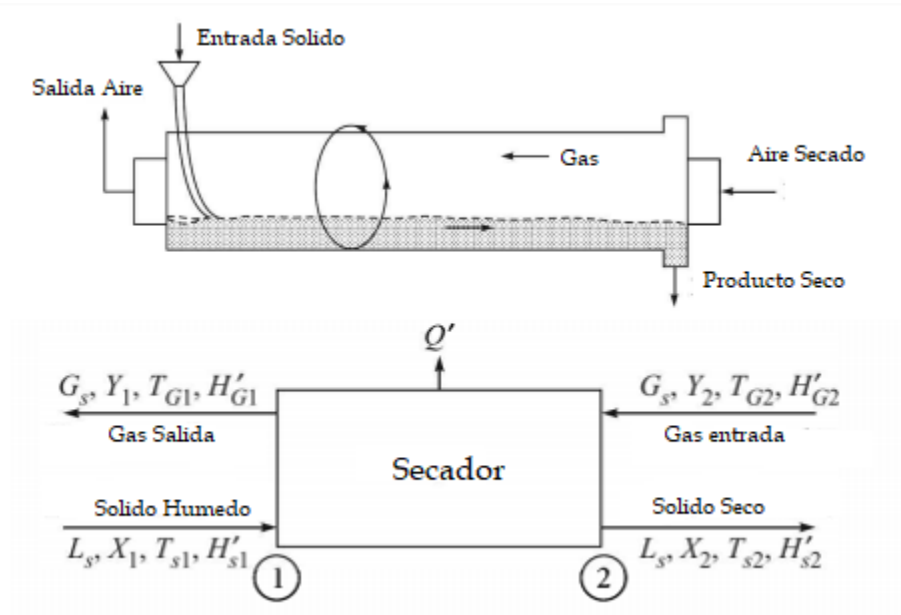


Figura 10: Geometría del secador rotatorio.

Descripción y justificación del equipo

Este equipo consiste en un cilindro inclinado que gira lentamente mientras ingresa por su estanque superior un sólido húmedo, el cual al estar en contacto con un flujo transversal de aire permite disminuir su contenido de humedad. El diámetro usual de este equipo varía entre 0,3 y 3 metros mientras que su largo varía entre 4 y 15 veces el valor del diámetro [37].

Si bien existen múltiples alternativas para el proceso de secado, se elige este equipo ya que frecuentemente es utilizado en el secado de sólidos orgánicos y además porque permite operar en continuo, lo cual es útil considerando el alto flujo de papa a utilizar [37].

Balance de Masa

A partir de la Figura 9 se realiza el balance de masa del equipo, cabe destacar que las especies involucradas para el proceso corresponde a: papa, agua y aire de secado.

Balance global

$$F_{31} = F_{32} + F_{33} \quad (55)$$

$$G_s \cdot Y_2 + L_s \cdot X_1 = G_s \cdot Y_1 + L_s \cdot X_2 \quad (56)$$

Balance por especie

$$Papa_{entrada,seca} = Papa_{entrada} \cdot (1 - x_1) \quad (57)$$

$$Agua_{entrada} = Papa_{entrada} \cdot x_1 \quad (58)$$

$$X_i = \frac{x_i}{(1 - x_i)} \quad (59)$$

$$Agua_{removida} = L_s \cdot (X_1 - X_2) \quad (60)$$

$$Papa_{seca} = Papa_{entrada} - Agua_{removida} \quad (61)$$

Balance de energia

$$G_s \cdot H_{G2} + L_s \cdot H_{s1} = G_s \cdot H_{G1} + L_s \cdot H_{s2} \quad (62)$$

Entalpías

$$H_{s1} = (C_{ps} + X_1 \cdot C_{pl}) \cdot T_{s1} \quad (63)$$

$$H_{s2} = (C_{ps} + X_2 \cdot C_{pl}) \cdot T_{s2} \quad (64)$$

$$H_{G1} = (C_{pG} + Y_2 \cdot C_{pv}) \cdot T_{G2} + \lambda_w \cdot Y_2 \quad (65)$$

$$H_{G1} = (C_{pG} + Y_1 \cdot C_{pv}) \cdot T_{G1} + \lambda_w \cdot Y_1 \quad (66)$$

En la Tabla 26 se detallan las unidades de cada parámetro y su significado.

Parámetro	Nombre	Unidad
Y	Humedad del gas	[]
X	Humedad del sólido	[]
x_i	Porcentaje de agua en el sólido	[%]
L_s	Flujo de sólido	[kJ/kg]
G_s	Flujo volumétrico aire	[m ³ /(kg aire seco)]
T_G	Temperatura del gas	[°C]
T_s	Temperatura del sólido	[°C]
C_{ps}	Calor específico del sólido	[kJ/(kg·K)]
C_{pg}	Calor específico del gas seco	[kJ/(kg·K)]
C_{pv}	Calor específico del vapor de agua	[kJ/(kg·K)]
C_{pl}	Calor específico del líquido	[kJ/(kg·K)]
λ_v	Calor latente agua	[kJ/(kg·K)]
H_s	Entalpía del sólido	[kJ/kg]
H_G	Entalpía del gas	[kJ/kg]

Tabla 26: Parámetros utilizados para el dimensionamiento del secador.

Ecuación de Diseño

El dimensionamiento del equipo consiste en determinar el diámetro del secador y su largo. A partir de los balances de masa es posible obtener la humedad de la corriente gaseosa y en función de este parámetro y el flujo másico se puede obtener el diámetro. El largo del equipo se determina con correlaciones [37].

A continuación se detallan las ecuaciones utilizadas para poder dimensionar el equipo:

$$V_H = ((1/28, 97) + Y/18, 02)) \cdot 22, 4 \cdot \frac{T_{Gi} + 273}{273} \quad (67)$$

$$G_{máximo} = G_s \cdot \max(V_{H2}, V_{H1}) \quad (68)$$

$$G_{máximo} = Area \cdot v_{aire} = (\Pi/4 \cdot d^2) \cdot v_{aire} \cdot (1 - \alpha/100) \quad (69)$$

$$G_{av} = G_s \cdot (V_{H1} + V_{H2})/2 \quad (70)$$

$$G' = G_{av} \cdot (\Pi/4 \cdot d^2)/3600 \quad (71)$$

$$U_a = 237 \cdot (G'^{(0, 67)})/d \quad (72)$$

$$C_{Hi} = C_G + C_{pv} \cdot Y_i \quad (73)$$

$$C_{av} = (C_{H1} + C_{H2})/2 \quad (74)$$

$$L = N_T \cdot G' \cdot C_{av}/U_a \quad (75)$$

Donde los parámetros de la ecuación corresponden a:

Parámetro	Nombre	Unidad
V_H	Volumen Húmedo	$[m^3/(kg)]$
d	Diámetro del secador	$[m]$
N_T	Número de unidades de transferencia	$[\]$
α	Factor de seguridad	$[\ %]$
$G_{máximo}$	Caudal volumétrico máximo de aire	$[m^3/h]$
G_{av}	Flujo promedio aire	$[m^3/h]$
G'	Flujo másico de aire	$[\]$
U_a	Coefficiente de transferencia de calor	$[\]$
C_H	Calor de humedad	$[\]$
C_{av}	Calor de Humedad promedio	$[\]$
L	Largo del secador	$[m]$

Tabla 27: Parámetros usados para el dimensionamiento del secador.

Datos y supuestos utilizados

La Tabla 28 expone los principales datos a utilizar para el dimensionamiento del secador [38] [39] [40] [41] [42] [43].

Símbolo	Parámetro	Unidad	Valor
Y_2	Humedad del gas en la entrada	$[-]$	0,01
T_{G2}	Temperatura del gas en la entrada	$[^{\circ}\text{C}]$	100
T_{G1}	Temperatura del gas en la salida	$[^{\circ}\text{C}]$	60
T_{S1}	Temperatura del sólido en la entrada	$[^{\circ}\text{C}]$	25
T_{S2}	Temperatura del sólido en la salida	$[^{\circ}\text{C}]$	40
x_1	Porcentaje de agua en la entrada	$[\%]$	80
x_2	Porcentaje de agua en la salida	$[\%]$	1
C_{pl}	Calor específico del agua	$[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	4,19
C_{pg}	Calor específico del gas seco	$[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	1,005
C_{ps}	Calor específico del sólido seco	$[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	1,715
C_{pv}	Calor específico del vapor de agua	$[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$	1,89
N_t	Número de unidades de transferencia	$[-]$	2,5
α	Factor de seguridad	$[\%]$	20
v	Velocidad del fluido	$[\text{m/s}]$	2

Tabla 28: Datos dimensionamiento del secador.

A continuación, se resumen los principales supuestos utilizado para el dimensionamiento:

- Por condiciones de diseño el número de unidades de transferencia del secador debe estar entre 1,5 y 2,5. Por lo tanto, se elige el mayor valor con tal de tener un sobredimensionamiento del equipo en caso de que existan pérdidas de energía [37].
- Se considera que el secador opera en un régimen adiabático.
- La velocidad del flujo es de 2 $[\text{m/s}]$ ya que es similar a lo utilizado en otros procesos de secado de papa [37].
- La temperatura de entrada de la papa corresponde a la temperatura ambiente mientras que su salida es igual a 40°C , se justifica este valor producto de la alta temperatura del aire al inicio y la necesidad de que el sistema quede a una baja humedad, luego existirá una alta transferencia de calor que permite aumentar la temperatura del sólido.
- Para la temperatura del aire, se fija un valor de 100°C el cual es razonable en comparación a otros valores utilizados en la industria.
- La temperatura de salida del gas se mantiene en 60°C dado que se asume que la alta transferencia con el sólido permitirá alcanzar dicho valor.
- El contenido de agua de la papa se obtiene por bibliografía mientras que el contenido de agua a la salida debe ser menor a un 4%, de manera de asegurar la inocuidad microbiológica, se estima un valor de un 1% de agua a la salida de manera de tener un margen de seguridad

para la papa seca. Además, debido al alto flujo tratado de papa se debe reducir el contenido de agua para evitar la dilución de los nutrientes en la mezcla final.

- El dimensionamiento del proceso y las correlaciones utilizadas se justifican en base al método propuesto en el libro "Principles Of Mass Transfer And Separation Process" de Binay Dutta [37].
- Se utiliza un factor de seguridad de un 20 % en base a la bibliografía, es necesario aplicar este factor de seguridad dado que una parte del volumen del equipo está siendo utilizada por el sólido a tratar, por lo tanto, no existirá el 100 % del volumen disponible para el paso del aire. [37].

Resultados

Dado que no se conoce la humedad de salida del gas, es necesario determinar este parámetro para poder calcular el resto de los flujos, a partir del balance de energía se puede despejar la entalpía de salida del gas como:

$$H_{G1} = G_s \cdot H_{G2} + L_s \cdot (H_{s1} - H_{s2}) \quad (76)$$

Reemplazando esta expresión en la entalpía del gas a la salida y despejando Y_1 obtenemos:

$$Y_1 = \frac{(G_s \cdot H_{G2} + L_s \cdot (H_{s1} - H_{s2})) - C_{pg} \cdot T_{G1}}{C_{pv} \cdot T_{G1} + \lambda_w} \quad (77)$$

Dado que no se conoce el valor del flujo G es necesario utilizar la ecuación del balance global para poder resolver el sistema que se muestra proximately.

$$Y_1 = \frac{(G_s \cdot H_{G2} + L_s \cdot (H_{s1} - H_{s2})) - C_{pg} \cdot T_{G1}}{C_{pv} \cdot T_{G1} + \lambda_w}$$

$$G_s \cdot Y_2 + L_s \cdot X_1 = G_s \cdot Y_1 + L_s \cdot X_2$$

Utilizando los valores presentes en la Tabla 28 se calculan los parámetros necesarios para poder resolver el sistema, obteniendo los valores que se detallan en la Tabla 29

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
X_1	Humedad sólido seco en la entrada	4	□
X_2	Humedad sólido seco en la salida	0,01	□
$\text{Agua}_{\text{removida}}$	Cantidad de agua removida durante el secado	1665,24	[kg/h]
H_{s1}	Entalpía del sólido a la entrada	461,875	[kJ/kg]
H_{s2}	Entalpía del sólido a la salida	70,29	[kJ/kg]
H_{G2}	Entalpía del gas a la entrada	127,66	[kJ/kg]
Y_1	Humedad del gas a la salida	0,026	□
H_{G1}	Entalpía del gas a la salida	129,26	[kJ/kg]
G_s	Flujo de aire requerido	102249,73	[kg/h]

Tabla 29: Resultados parciales del dimensionamiento del secador.

A partir del flujo másico de aire requerido (G) se calcula el tamaño del secador rotatorio a partir de las ecuaciones de diseño descritas anteriormente, obteniendo los valores que se muestran a continuación en la Tabla 30

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
V_{H1}	Volumen húmedo en la salida ($T=60^{\circ}\text{C}$ e $Y=0,026$)	0,98	$[\text{m}^3/(\text{kg aireseco})]$
V_{H2}	Volumen húmedo en la entrada ($T=100^{\circ}\text{C}$ e $Y=0,01$)	1,074	$[\text{m}^3/(\text{kg aireseco})]$
$G_{\text{máximo}}$	Flujo máximo de aire	30,49	$[\text{m}^3/\text{s}]$
d	Diámetro del equipo	4,93	[m]
G'	Flujo másico de gas	1,53	$[\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$
U_a	Coefficiente de transferencia de calor	157,75	$[\text{W}/((\text{m}^2 \cdot \text{s}))]$
C_{H2}	Calor de humedad en la salida	1,024	$[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$
C_{H1}	Calor de humedad en la entrada	1,025	$[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$
L	Largo del secador	25,25	[m]

Tabla 30: Resultados del dimensionamiento del secador.

Finalmente a partir de los datos anteriores, se obtiene que los flujos de salida vienen dado por:

$$Papa_{seca} = Papa_{entrada} - L_s \cdot (X_1 - X_2) = 421,581[\text{kg}] \quad (78)$$

$$Agua_{removida} = L_s \cdot (X_1 - X_2) = 1665,25[\text{kg}] \quad (79)$$

A su vez el equipo posee un diámetro de 4,93 [m] y un largo de 25,25 [m], lo cual es consistente con la bibliografía [], puesto que por lo general el largo es al menos 4 veces el valor del diámetro.

Discusión

Los cálculos de dimensionamiento son llevados a cabo suponiendo temperaturas de salida de los componentes, además de un porcentaje de salida de humedad en los compuestos. Este 1% de humedad puede no ser del todo factible por limitaciones físicas. No obstante el dimensionamiento es acorde a lo encontrado en bibliografía.

4.4.8. Mixer Settler

Se considera un proceso de ATPS (*Aqueous Two Phase System*) que considera 2 equipos mixer settler compuestos por un reactor batch con agitación y un sedimentador con una geometría de un poliedro conformado por un cono seguido de un cilindro de mismo radio. En la Figura 11 se observan los flujos de entrada y salida del proceso.

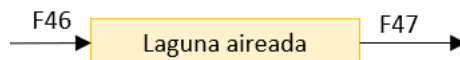


Figura 11: Esquema de flujos de entrada y salida del sistema ATPS. []

Descripción y justificación del equipo

Los sistemas de separación ATPS corresponden a equipos usados para la purificación de grandes volúmenes en procesos industriales. Estos utilizan las propiedades de solubilización de moléculas en distintos medios para generar una migración de estas. En particular, es de interés el movimiento de proteínas en fases formadas por Buffer Fosfato y PEG 4000. Inicialmente la corriente con contaminantes y proteínas se mezcla con una solución de Buffer Fosfato 6,5 % NaCl y PEG4000 libre de proteínas para que migren a la fase con PEG4000. Luego se deja reposar la mezcla para que se separen las fases y la rica en proteína es mezclada con una nueva fase salina de Buffer Fosfato 0 % NaCl para enriquecer esta nueva fase. Cabe mencionar que la fase de PEG4000 es reciclada y purgando un pequeño porcentaje (3 % para mantenerla limpia) [44].

Balance de Masa

En el equipo existe transferencia de proteínas al contactarse las distintas fases. Esto viene dado por:

$$y_0 \cdot H + x_0 \cdot L = y_f \cdot H + x_f \cdot L \quad (80)$$

Y en equilibrio:

$$K = \frac{x}{y} \quad (81)$$

Correspondiendo los parámetros a:

Parámetro	Nombre	Unidad
y_i	Concentración en Fase PEG 4000	[kg/L]
H	Fase Salina	[L]
x_i	Concentración en Fase Salina	[kg/L]
L	Fase PEG 4000	[L]
K	Coefficiente de partición	[]

Tabla 31: Parámetros del balance de masa usados para dimensionar la etapa de mixer settler.

El balance puede hacerse para el sistema completo, quedando:

$$Papa_{molida} + Sln_{6,5\%} + Sln_0\% + PEG4000 = PEG4000 + Papa_{Salina_{6,5\%}} + Sln_{Proteína_0\%} \quad (82)$$

Para el caso de un Mixer Settler (el primero), se tiene:

$$Papa_{molida_{F25}} + Sln_{6,5\%_{F27}} + PEG4000_{26} + PEG4000_{Reciclo} = PEG4000 + Papa_{Salina_{6,5\%_{F29}}} \quad (83)$$

Ecuación de Diseño

Como ya se mencionó la etapa consiste en un reactor batch y un settler. Por lo que sus ecuaciones vienen gobernadas por el volumen necesario.

$$V = H + L \quad (84)$$

Para el batch:

$$V_{Reactor} = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot h \quad (85)$$

Para el settler, se tiene la sección cónica y la cilíndrica.

$$V_{Settler} = \frac{\pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \frac{h}{3}}{3} + \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \frac{2h}{3} \quad (86)$$

Donde los parámetros de las ecuaciones corresponden a:

Parámetro	Nombre	Unidad
L	Fase PEG 4000	[L]
H	Fase Salina	[L]
V	Volumen	[m ³]
$V_{Reactor}$	Volumen del Reactor	[m ³]
D	Diametro	[m]
h	Altura	[m]
$V_{Settler}$	Volumen del Settler	[m ³]

Tabla 32: Parámetros del dimensionamiento para la etapa de mixer settler.

Datos y supuestos utilizados

En la Tabla 33 se muestran los principales datos y supuestos a utilizar para el dimensionamiento .

Símbolo	Parámetro o consideración	Unidad	Valor
K_2	Constante de partición	[]	0,082
t_{op}	Tiempo de operación	[h]	1
L/H	Relación entre fases	[]	1/7
h/D	Relación Altura y Diámetro	[]	3
h_{seg}	Porcentaje de altura de seguridad	[]	33 %
x0	Concentración de salida de PEG4000	[kg/L]	0
H	Volumen fase salina 6,5 % NaCl	[L]	200
	Porcentaje purga de PEG4000	[]	3 %
N_A	Nº Agitadores	[]	2
H1	Volumen Fase Salina 0 % NaCl	[L]	1000
%Extrac	Porcentaje de extracción de proteínas	[]	80 %

Tabla 33: Datos para el proceso de ATPS.

Los principales supuestos son:

- Se utiliza la figura de bibliografía para determinar la concentración de NaCl en la fase salina [44].
- La sal no migra a la fase PEG4000.
- Eficiencia del 100 % de transferencia y de separación.

Resultados

El dimensionamiento de los 2 reactores y 2 settlers se resume en la siguiente tabla, a igual que las concentraciones de proteínas obtenidas.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Fase PEG	L	426,59	[L]
Volumen Reactor 1	V_{R1}	3,41	[m ³]
Diámetro Reactor 1	D_{R1}	1,13	[m]
Altura Reactor 1	h_{R1}	4,51	[m]
Volumen Sedimentador 1	V_{S1}	4,38	[m ³]
Altura Sedimentador 1	h_{S1}	4,9	[m]
Diámetro Sedimentador 1	D_{S1}	1,23	[m]
Concentración Fase PEG	x_1	0,0743	[kg/L]
Concentración Fase Salina	y_1	0,0027	[kg/L]
Volumen Reactor 2	V_{R2}	1,43	[m ³]
Diámetro Reactor 2	D_{R2}	0,846	[m]
Altura Reactor 2	h_{R2}	2,54	[m]
Volumen Sedimentador 2	V_{S2}	4,38	[m ³]
Altura Sedimentador 2	h_{S2}	3,67	[m]
Diámetro Sedimentador 2	D_{S2}	0,92	[m]
Concentración Fase PEG	x_2	0,0025	[kg/L]
Concentración Fase Salina	y_2	0,031	[kg/L]

Tabla 34: Resultados dimensionamiento Mixers Settlers.

Discusión

El sistema compuesto de ATPS, supone una eficiencia del 100 % para todos los procesos que lo componen. Además trabaja con corrientes con concentraciones nulas, lo cual no es real dado que son recirculadas. Las geometrías de los equipos no son las más adecuadas para su funcionamiento, pero dada la simpleza del proceso cumplen su propósito. Dado esto, el sistema no contabiliza la proteína que se mantiene en la fase PEG ocasionando un error en el balance de masa, además es necesario trabajar con coeficientes de partición más grandes para asegurar una migración aceptable de las proteínas para cumplir con los estándares impuestos.

4.4.9. Equipos dimensionados por catálogo

Para dimensionar los equipos por catálogo se consideraron los flujos de entrada que el equipo debe procesar, a partir de esta información, se buscan equipos que actualmente se vendan en la industria y posean una capacidad similar. Cabe destacar que para el esterilizador de pulsos de luz solo se requiere utilizar una lámpara de xenon que pueda emitir los pulsos de luz.

Equipo	Descarte	Flujo	Unidad	Capacidad	Referencia
Estación de Lavado	Salmón	240,67	[kg/día]	40 [kg/carga]	[45]
	Papa	2117,43	[kg/día]	1500 [kg/h]	[45]
	Linaza	612,53	[kg/día]	800 [kg/h]	[45]
Esterilizador por pulsos de luz	Papa y linaza	2117,43	[kg/día]	1000 [mW/cm ²]	[46]
Cortador	Papa	2117,43	[kg/día]	800 [kg/batch]	[47]
Liofilizador	Salmón	216,60	[kg/día]	50 [kg]	[48]
Sedimentador	RILes	6648	[L/día]	1.400 [ton/dia]	[49]
Mezclador	Todos	596,44	[kg/día]	750 [kg/batch]	[50]

Tabla 35: Equipos dimensionados por catálogo.