

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

“Estudio de prefactibilidad de una planta para la producción de crema hidratante a partir de aceites de semillas”

Rafaela Valdez Moya

Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Química

Quito, 05 de mayo de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

“Estudio de prefactibilidad de una planta para la producción de crema hidratante a partir de aceites de semillas”

Rafaela Valdez Moya

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, PhD.

Quito, 05 de mayo de 2020

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Rafaela Valdez Moya

Código: 00130149

Cédula de identidad: 1718234188

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

En el presente trabajo se hace un estudio de prefactibilidad de una planta para la extracción de aceites de semilla y la producción de una crema llamada “DGrizz Plus®”, hecha a partir de los mismos. Este proyecto parte de una iniciativa que combina una mayor atención al cuidado de la piel, el involucramiento del productor para mejorar su rentabilidad, y el uso de productos residuales como materia prima. Primero, se diseñó el proceso para una producción de 24 unidades semanales. Esta cantidad se decidió a partir de la primera producción de 600 unidades que se vendieron en un año. Segundo, se hizo el dimensionamiento los equipos necesarios para la planta; estos son pequeños acorde al tamaño del caudal de producción, pero se pueden emplear para la elaboración de otros productos. Tercero, se realizó el análisis económico donde se estimaron los precios de los equipos, y a partir de este costo se estimó el total de la inversión requerida para el proyecto. Con los ingresos considerados se pudo calcular el tiempo de retorno de la inversión inicial; se necesitarían alrededor de 33 años para ello. Se concluye que no es factible la implementación de la planta bajo las asunciones iniciales. Para recuperar la inversión en 7 años, se deberían producir 80 unidades de crema semanalmente, lo que no es justificable con el mercado actual.

Palabras clave: prefactibilidad, crema, aceites, semillas, proceso, dimensionamiento, análisis económico, tiempo de retorno.

ABSTRACT

The present work consists of a pre-feasibility study of a plant to extract oils from seeds and to produce a lotion named “DGrizz Plus®” which is manufactured from these oils. This initiative is born from a combination of a greater attention to skin care, the involvement of the producer to improve its profitability and the use of residual products as raw material. First, the process was designed for a production of 24 weekly units. This quantity was decided from the first production of 600 units that were sold in one year. Second, the necessary equipment for the plant was dimensioned. These are small given the reduced production, but they can be used to make other products. Third, the economic analysis was performed. For this, the prices of the equipment were estimated, and from this, the total investment required to implement this project. With the considered income, the return time of the initial investment could be calculated; the result was that about 33 years are needed for this. The conclusion is that the implementation of the plant is not feasible under the actual assumptions. In order to recover the investment in 7 years, 80 weekly units of lotion should be produced, which is not justifiable with the current market.

Key words: pre-feasibility, lotion, oils, seeds, process, dimensioned, economic analysis, return time.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción.....	14
1.1	Antecedentes.....	14
1.2	Justificación.....	15
1.3	Propuesta del proyecto.....	16
1.3.1	Objetivos.....	16
1.3.2	Resultados esperados.....	16
2.	Materia prima y producto.....	17
2.1	Descripción del producto.....	17
2.1.1	Composición.....	17
2.1.2	Aceite de moringa.....	19
2.1.3	Aceite de aguacate.....	21
2.1.4	Aceite de chía.....	22
2.1.5	Aceite de maracuyá.....	23
2.1.6	Aceite de sachá inchi.....	24
2.2	Materias primas.....	25
2.2.1	Crema base.....	25
2.2.2	Agua.....	26
2.2.3	Polímeros.....	26
2.2.4	Semillas de moringa.....	26
2.2.5	Aceite de aguacate.....	27

2.2.6	Semillas de chía.	27
2.2.7	Semillas de maracuyá.	27
2.2.8	Semillas de sachá inchi.	28
2.2.9	Envases.	28
3.	Proceso.....	28
3.1	Descripción del proceso general. [8]	28
3.2	Especificaciones del proceso.	29
3.2.1	Secado.	29
3.2.2	Extracción del aceite.	30
3.3	Diseño del proceso.....	31
4.	Diseño de la planta.....	35
4.1	Dimensionamiento.	35
5.	Análisis económico.....	41
5.1	Costos.....	41
5.2	Ingresos.	43
5.3	Tiempo de recuperación.....	44
6.	Conclusión	45
7.	Referencias.....	47
8.	Anexos	57
	ANEXO A: Balance de masa.....	57
	A.1 Extrusora	57

A.2 Peladora.....	60
A.3 Secador.....	62
A.4 Tanque de lavado	65
A.5 Tanque almacenamientos semillas, crema base y polímeros.....	67
A.6 Destilador.....	68
A.7 Mezcladoras	69
A.8 Envasadora.....	70
ANEXO B: Balance de energía	73
ANEXO C: Dimensionamiento de tanques de almacenamiento [60].....	78
C.1 Semillas de moringa.....	78
C.2 Semillas de moringa peladas	80
C.3 Aceite de moringa	81
C.4 Semillas de chía.....	83
C.5 Semillas de chía secas	84
C.6 Aceite de chía.....	85
C.7 Semillas de maracuyá.....	86
C.8 Semillas de maracuyá secas	87
C.9 Aceite de maracuyá	88
C.10 Semillas de sacha inchi	89
C.11 Semillas de sacha inchi peladas	90
C.12 Aceite de sacha inchi.....	91

	10
C.13 Aceite de aguacate.....	92
C.14 Crema base	93
C.15 Polímeros.....	95
ANEXO D: Dimensionamiento de tanque agitador para lavar.....	97
ANEXO E: Dimensionamiento secador [57].....	101
ANEXO F: Dimensionamiento peladora [65]	104
ANEXO G: Dimensionamiento extrusora [66]–[68].....	106
ANEXO H: Dimensionamiento mezcladoras [62]	111
H.1 Mezcladora 1.....	111
H.2 Mezcladora 2.....	116
ANEXO I: Dimensionamiento destilador y envasadora.....	121
ANEXO J: Análisis de costos [71]	122
J.1 Costo equipos	122
J.2 Costo total.....	125
ANEXO K: Análisis de ingresos	128
ANEXO L: Análisis de tiempo de retorno de la inversión [71]	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de precio de distintas cremas corporales	15
Tabla 2. Lista de ingredientes de la crema DGrizz Plus®	18
Tabla 3. Composición del aceite de moringa	20
Tabla 4. Composición del aceite de aguacate	21
Tabla 5. Composición del aceite de chía	22
Tabla 6. Composición del aceite de maracuyá	24
Tabla 7. Composición del aceite de sachá inchi	25
Tabla 8. Calendario semanal de la planta	31
Tabla 9. Resumen de corrientes másicas	34
Tabla 10. Resumen de corrientes de calor	34
Tabla 11. Dimensión de tanques de almacenamiento	35
Tabla 12. Dimensión del tanque para el lavado M-101	36
Tabla 13. Dimensión del secador DY-101	37
Tabla 14. Dimensión de la peladora DH-101	37
Tabla 15. Dimensión de la extrusora E-101	38
Tabla 16. Dimensión del destilador DT-101	39
Tabla 17. Dimensión de las mezcladoras	39
Tabla 18. Dimensión de la envasadora P-101	40
Tabla 19. Resumen del costo de los equipos	41
Tabla 20. Costo total	43
Tabla 21. Ingresos	44
Tabla 22. Tiempo de recuperación	44
Tabla 23. Resumen de corrientes másicas en relación a la moringa	71
Tabla 24. Corrientes másicas que varían en relación a la chía	71

Tabla 25. Corrientes másicas que varían en relación al maracuyá	72
Tabla 26. Corrientes másicas que varían en relación a sachá inchi	72
Tabla 27. Parámetros para equipos comunes.....	122
Tabla 28. Cálculo de costo de equipos.....	122
Tabla 29. Costo de equipos adquiridos	123
Tabla 30. Factores por tipo de procesamiento	123
Tabla 31. Factor de material	124
Tabla 32. Uso de factores en los equipos.....	124
Tabla 33. Suma de costos.....	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Crema DGrizz Plus®.....	19
Figura 2. Diagrama de bloque.....	28
Figura 3. Diagrama de flujo para la semilla de moringa.....	34
Figura 4. Diagrama del tornillo con sus medidas	39
Figura 5. Esquema de una extrusora de tornillo	57
Figura 6. Diagrama de flujo general para la semilla de moringa.....	71
Figura 7. Tabla psicométrica.....	75
Figura 8. Diagrama del tanque con techo cónico y fondo plano	79
Figura 9. Diagrama de las dimensiones del techo cónico	79
Figura 10. Diagrama del tanque con techo cónico y fondo elipsoidal.....	82
Figura 11. Número de potencia vs. Número de Reynolds para diferentes tipos de agitadores [62]	100
Figura 12. Esquema del tornillo de la extrusora	108
Figura 13. Número de flujo vs. Número de Reynolds	114

1. Introducción

1.1 Antecedentes.

Hay factores internos y externos que influyen en el porcentaje de agua en la piel. Entre los factores internos se encuentran los genéticos y hormonales; en los externos, se distinguen el sol, y la alimentación, entre otros. Por otro lado, en el Ecuador, se registra un incremento en la temperatura ambiental promedio de alrededor de 1.4 °C en los últimos 100 años. Esto aumenta la deshidratación, envejecimiento y cáncer de piel en la población [1], razón por la cual las personas tienden a ser más conscientes en cuanto al cuidado de la piel; esto se traduce en un aumento de las ventas en la industria cosmética. La demanda de esta creció en 8.3% en el 2017, seguido de 4% en el 2018, incrementos causados por una mayor demanda. Se detecta una necesidad de estar a la vanguardia de la tendencia mundial de belleza orgánica, lo que constituye una oportunidad de ofrecer un producto cosmético de hidratación profunda a base de aceites elaborado en Ecuador [2] [3].

En el Ecuador se establecieron los primeros sembríos de moringa en el 2010. En 2017 se estimó que habían alrededor de 400 hectáreas de este cultivo [4]. Uno de los productores de esta planta es la Hacienda Don Juan, ubicada en el cantón Jama en la provincia de Manabí. Este productor empezó la plantación en el año 2015 y, la misma tiene una superficie de cultivo de moringa de 7 hectáreas. Sin embargo, la rentabilidad de los productores es baja; el productor vende las hojas de moringa deshidratadas a \$ 5.50/kg, mientras que el vendedor las empaca y las vende a \$ 3.50/100g, ganando \$ 29.50/kg. Asimismo, el productor vende las semillas a \$ 30/kg, mientras que el vendedor remueve la cáscara, las envasa y vende a \$ 10/70g, ganando \$ 105/kg, tomando en cuenta la pérdida del 20% del peso por la remoción de la cáscara [5]. Además, el pago al productor no es inmediato. Se observa que hay un beneficio

desproporcionado al intermediario; es por esto que se evalúa la oportunidad de que el productor se involucre en el procesamiento y la elaboración de productos finales con un valor agregado.

Finalmente, las empresas que elaboran pulpa de frutas tienen productos residuales que son descartados. Por ejemplo, se estima que, en la producción industrial de jugo de maracuyá, el residuo alcanza el 40% en peso de las frutas procesadas, del cual el 90% son la cáscara y las semillas. De los desechos de las distintas frutas que se utilizan, se puede extraer aceite y dar un valor agregado a los residuos de estas industrias [6].

1.2 Justificación.

El principal ingreso será por la venta de la crema. Para determinar el precio de venta, se buscaron productos similares que se consideren de la misma calidad; estos se resumen en la Tabla 1. De esta manera se determinó que el precio de venta de cada tubo de 200 gramos (150 ml) es de \$ 27.95. Dado que este precio es alto en comparación con otras marcas nacionales, el nivel de mercado es de clase media a alta, con ingresos superiores a \$ 860 mensuales [7]. Como se calculó en la sección 5.2 y el Anexo K, el ingreso por la venta del producto es de \$ 64,309.44. Por otro lado, si se toma en cuenta el costo de las materias primas, el margen es de \$ 49,067.22.

Tabla 1. Comparación de precio de distintas cremas corporales

Marca	Descripción	Presentación	Precio [\$]
Letixer	Crema hidratante, suavizante y	200 ml	33.60
Eucerin	Crema humectante intensiva calmante	200 ml	34.79
Bioderma	Atoderm Intensive Baume. Ultra-soothing	200 ml	37.22
Avène	Textura rica. Hidrata, calma	200 ml	37.24
L'Occitane	Crema de manos hidratante	300 ml	39.00

Además de la crema, se planea vender los aceites extraídos de las distintas semillas. Esta será otra fuente de ingresos para la planta y se espera que esta sea una opción viable ya que la materia prima para algunos de los aceites proviene de los desechos de plantas

productoras de pulpas de frutas; de esta manera, se tiene materia prima de bajo costo. Adicionalmente, hay un interés por parte de las personas de consumir aceites provenientes de vegetales y frutas. Para el precio de venta de estos aceites, se tomó como referencia el precio de los aceites posicionados por la competencia ya en el mercado.

Como se describió en la sección 1.1, se busca el involucramiento directo del productor en el proceso y obtención del producto final generar para un mayor beneficio para él, evitando la intermediación; esta es la manera en que se usa la moringa de la plantación Hacienda Don Juan: el productor provee la materia prima y también es inversionista de la planta. Así tiene un comprador y, además, recibe las ganancias por la venta de los productos. Otro beneficio podría ser encontrar nuevos productos que también utilicen moringa como materia prima.

1.3 Propuesta del proyecto.

1.3.1 *Objetivos.*

En el presente trabajo se plantea un estudio de prefactibilidad de una planta para producción de crema hidratante DGrizz Plus®. Esto se planea lograr mediante el cumplimiento progresivo de los siguientes objetivos específicos:

- 1) Diseñar el proceso de elaboración de la crema.
- 2) Diseñar la planta para llevar a cabo el proceso diseñado.
- 3) Realizar el análisis económico de la implementación de la planta.

1.3.2 *Resultados esperados*

En el año 2018, se realizó una producción de 600 unidades de la crema; se introdujo la marca y el producto al mercado a través de la página web y de las redes sociales Facebook e Instagram. Además, la marca participó en la feria Grand Bazaar de Cumbayá en diciembre de 2019. En este, las personas pudieron probar el producto, logrando incrementar su venta.

Finalmente, se decidió vender DGrizz Plus® físicamente mientras se continúa con su venta digital.

El punto de partida para la implementación de la planta es la producción del doble del tiraje inicial, es decir, 1200 unidades. Se espera vender este número a partir del segundo año debido a que las personas ya estarían familiarizadas con la marca y el producto. Además, se ha visto aceptación del producto en el mercado, lo cual permite predecir que habrá un impacto positivo en el mercado cosmético. La producción se podría incrementar a futuro si se concreta la venta del producto en más puntos de distribución o si se exporta a otros países. Inicialmente, se planea una producción intermitente para la elaboración de 24 unidades de producto semanales.

A futuro, la planta podría ser usada para la elaboración de otros productos. Esto es posible ya que los mismos equipos se pueden implementar para diversificar la producción. Además, se pueden obtener otras semillas a bajo precio para extraer aceite y utilizarlos en otros productos. Por otro lado, dado que la producción de la crema es intermitente, los equipos tendrán tiempo disponible para ser utilizados. En la planta se podrían producir cremas exfoliantes, cremas faciales, y protectores solares, entre otros.

2. Materia prima y producto

2.1 Descripción del producto.

2.1.1 Composición.

DGrizz Plus® es una crema corporal de hidratación profunda debido a su formulación. Se describe como unidad de producto a un tubo plástico de crema de 200 gramos (Figura 1). Su poder hidratante se debe a sus ingredientes, que se muestran en la Tabla 2 [8], los cuales se

presentan en inglés debido a que este es el lenguaje usado en las industrias y se muestran en orden de abundancia.

Tabla 2. Lista de ingredientes de la crema DGrizz Plus®

Ingredientes	Justificación
Water	Vehículo
Hydrogenated palm kernel oil	Emoliente
Cetyl alcohol	Emoliente
<i>Passiflora edulis</i> seed oil	Emoliente
Methyl gluceth-20	Humectante
Hydrolyzed collagen	Humectante
<i>Moringa oleífera</i> seed oil	Emoliente
<i>Salvia hispánica</i> seed oil	Acondicionador
Glyceryl stearate and peg-100 stearate	Emulsificante
Dimethicone/vinyl dimethicone crosspolymer and silica	Viscosante
<i>Persea gratissima</i> oil	Acondicionador
<i>Plukenetia volubilis</i> seed oil	Emoliente
Isopropyl palmitate	Emoliente
Titanium dioxide	Opacificante
Acrylates/C10-30 alkyl acrylate crosspolymer	Viscosante
Fragrance	Fragancia
Polyoxyethylene glyceryl laurate	Preservante
BHT al 0.01%.	Antioxidante

Cada ingrediente tiene una función dentro de la formulación del producto: un vehículo es una sustancia que se usa para facilitar la incorporación de los ingredientes, dosificar correctamente y dar consistencia y forma al producto; un emoliente es una sustancia que ayuda a hidratar la piel, mantener el agua en la misma, evitar la sequedad y aportar suavidad y flexibilidad; un humectante es una sustancia que humedece y suaviza la piel debido a la retención del agua en la misma; un acondicionador es una sustancia capaz de crear una capa sobre la piel; un emulsificante es una sustancia que facilita la formación de una emulsión y ayuda a retrasar la separación de las fases de la misma; un viscosante es una sustancia que aumenta la viscosidad de una mezcla; un opacificante es una sustancia que mejora el aspecto final del producto; una fragancia es una sustancia que da olor; un preservante es una sustancia que previene el deterioro debido a microorganismos o cambios químicos no deseados;

finalmente, un antioxidante es una sustancia capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas.



Figura 1. Crema DGrizz Plus®

2.1.2 Aceite de moringa.

Moringa oleífera es una planta originaria de la India cuya cultivación data desde 150 A.C. Se ha descubierto que reyes la usaban en su dieta para mantenerse alerta y tener una piel sana. Los hindúes la han utilizado en su dieta y medicina por alrededor de 5000 años. Las hojas y las semillas se consumen debido a sus cualidades nutritivas, pero casi todas las partes del árbol se usan. Los residuos de la extracción del aceite se usan como acondicionador del suelo, fertilizante y suplemento alimenticio animal. El aceite que se extrae de las semillas se utiliza para cocinar, producir jabones, cosméticos y combustible para lámparas [9] [10].

Las semillas de moringa contienen alrededor de un 40% en peso de aceite [9]. La composición del aceite de moringa se puede ver en la Tabla 3 [11] [12]. Además, es rico en vitaminas A y C, y calcio. La composición del aceite de moringa le otorga propiedades importantes para la industria cosmética: antioxidante, hidratante, nutritivo, antiséptico,

antiinflamatorio. Es por esto que puede ayudar a curar problemas menores de la piel como cortes, golpes y quemaduras, además de ayudar con arrugas, con la purificación de la piel y el balance de la secreción de grasa [13].

Actualmente se comercializa aceite de moringa en el Ecuador. Uno de sus distribuidores, Ecuamoringa, lo comercializa en dos presentaciones: un envase de 60 ml con un costo de \$ 28, y uno de 1 litro con un costo de \$ 134.40. Su aplicación es para el cuero cabelludo, rostro, manos y cuerpos. Esta empresa afirma que “este maravilloso aceite al ser untado en la piel detiene la acción destructiva de los radicales libres que son los causantes de la caída del cabello, arrugas, líneas de expresión, granos, manchas, resequedad de la piel, nutriendo extraordinariamente su piel y dejándola totalmente suave y tersa” [5].

Tabla 3. Composición del aceite de moringa

Compuesto	Contenido [%]
<i>Ácidos grasos saturados</i>	20
Ácido palmítico	6
Ácido behénico	6
Otros	8
<i>Ácidos grasos monoinsaturados</i>	76
Ácido oléico	74
Otros	2
<i>Ácidos grasos poliinsaturados</i>	2
Ácido linoléico (Omega 6)	0.8
Ácido linolénico (Omega 3)	0.5
Otros	0.7
<i>Esteroles</i>	0.170
β-sitosterol	0.080
Stigmasterol	0.032
Campesterol	0.030
Δ ⁵ -avenasterol	0.015

Otros	0.013
<i>Tocoferoles (Vitamina E)</i>	<i>0.028</i>
α -tocoferol	0.013
δ -tocoferol	0.008
γ -tocoferol	0.006

2.1.3 Aceite de aguacate.

Persea gratissima es un fruto del árbol del mismo nombre. Hay evidencia de su existencia por registros arqueológicos que datan de 10000 A.C.; fue cultivado como fuente alimenticia desde 5000 A.C. A diferencia de la mayoría de los aceites, el aceite de aguacate no se extrae de su semilla, sino de su pulpa. Generalmente, se utilizan frutos rechazados para uso alimenticio. El aceite se extrae por altas temperaturas o por extracción por solvente. Sin embargo, en el siglo XX se empezó a extraerlo por métodos mecánicos [14].

El aguacate contiene alrededor del 15% en peso de aceite [15]. La composición del aceite de aguacate se presenta en la

En el Ecuador, el mayor productor de aceite de aguacate es la empresa Uyama Farms S.A. bajo la marca Mira Naturals. Sus productos se venden nacional e internacionalmente. Su precio de venta al público de \$ 5.98 por un envase de 250 ml [17].

Tabla 4. Además, contiene otros compuestos no lipídicos como clorofila y carotenoides [16]. Es por estos componentes que sus mayores ventajas son su notable absorción, y su naturaleza suavizante y calmante [14].

En el Ecuador, el mayor productor de aceite de aguacate es la empresa Uyama Farms S.A. bajo la marca Mira Naturals. Sus productos se venden nacional e internacionalmente. Su precio de venta al público de \$ 5.98 por un envase de 250 ml [17].

Tabla 4. Composición del aceite de aguacate

Compuesto	Contenido [%]
<i>Ácidos grasos saturados [%]</i>	<i>11</i>

Ácido palmítico [%]	10
Ácido esteárico [%]	0.4
Otros	0.6
<i>Ácidos grasos monoinsaturado [%]</i>	<i>75</i>
Ácido oléico [%]	70
Ácido palmitoléico [%]	4
Otros	1
<i>Ácidos grasos poliinsaturados [%]</i>	<i>11</i>
Ácido linoléico (Omega 6) [%]	10
Ácido linolénico (Omega 3) [%]	1
<i>Esteroles</i>	<i>0.00034</i>
<i>Tocoferoles (Vitamina E)</i>	<i>0.014</i>
α -tocoferol [mg/kg]	0.013
Otros	0.001

2.1.4 Aceite de chía.

Salvia hispánica es una semilla que fue uno de los cuatro alimentos básicos de las civilizaciones Azteca y Maya en la época precolombina. Es así que la chía ha sido parte de la dieta humana por alrededor de 5500 años. Esta se utilizaba como medicina, comida, cosméticos y parte de rituales. En la actualidad, se utiliza para la alimentación de personas y animales. Se consume la semilla entera, como harina, su mucílago o su aceite [18] [19].

El contenido de aceite en la semilla es de alrededor del 30% en peso. La composición del aceite de chía se puede ver en la Tabla 5 [20][21]. Se han hecho estudios en cuanto al efecto del aceite de chía sobre la piel, en especial el omega 3. Se determinó que la adición del mismo a formulaciones ayudó a la hidratación, inflamaciones crónicas y lesiones crónicas de la piel [19].

En el Ecuador se puede encontrar aceite de chía en Casa Barukcic. Una botella de 30 ml tiene un costo de \$ 1.09 y la de 1 l tiene un costo de \$ 21.48 [22]. Dado a que hay una alta demanda de la semilla de chía en la actualidad, se podría incentivar la elaboración de productos que contengan un valor agregado, como es su aceite [23].

Tabla 5. Composición del aceite de chía

Compuesto	Contenido [%]
<i>Ácidos grasos saturados</i>	<i>11</i>
Ácido palmítico	7
Otros	4
<i>Ácidos grasos monoinsaturado</i>	<i>7.5</i>
Ácido oléico	7
Otros	0.5
<i>Ácidos grasos poliinsaturados</i>	<i>81</i>
Ácido linoléico (Omega 6)	18
Ácido linolénico (Omega 3)	62
Otros	1
<i>Esteroles</i>	<i>0.413</i>
β -sitoesterol	0.206
Otros	0.207
<i>Tocoferoles (Vitamina E)</i>	<i>0.045</i>
γ -tocoferol	0.042
Otros	0.003

2.1.5 Aceite de maracuyá.

Passiflora edulis es originaria de Sudamérica, desde el sur de Brasil hasta el norte de Argentina. Además de consumir el fruto, extractos de diferentes partes de la planta se usaban para tratar enfermedades. En la actualidad, la planta se ha adaptado y se cultiva en distintas partes del mundo. Aún se consume el fruto, y también se lo utiliza en la industria farmacéutica y cosmética; además se cultiva como planta ornamental [24]. Se obtienen extractos de las hojas, bebidas a partir de la flor, jugo del fruto y aceite de las semillas.

Las semillas de maracuyá contienen 30% en peso de aceite. La composición del aceite de maracuyá se presenta en la Tabla 6 [6][25][26]. Los carotenoides son parte importante de su composición [27]. También contiene un compuesto polifenólico importante, el piceatanol (0.22%), cuya función es el efecto antialérgico, la inhibición de síntesis de melanina y la ayuda a sintetizar colágeno [25]. El resto de las componentes de este aceite ayudan a prevenir el envejecimiento de las células de la piel [26].

En el Ecuador se comercializa aceite de semilla de maracuyá para su uso en los productos alimenticios. La empresa que lo comercializa es Passola. Tiene una presentación de 250 ml y un precio de \$ 6.

Tabla 6. Composición del aceite de maracuyá

Compuesto	Contenido
<i>Ácidos grasos saturados</i>	<i>13</i>
Ácido palmítico	10
Ácido esteárico	2
Otros	1
<i>Ácidos grasos monoinsaturado</i>	<i>14</i>
Ácido oléico [%]	13
Otros	1
<i>Ácidos grasos poliinsaturados</i>	<i>74</i>
Ácido linoléico (Omega 6) [%]	73
Ácido linolénico (Omega 3) [%]	1
<i>Esteroles</i>	<i>0.209</i>
Estigmasterol [mg/kg]	0.0087
B-sitosterol [mg/kg]	0.0087
Otros	0.1916
<i>Tocoferoles (Vitamina E)</i>	<i>0.050</i>
δ-tocoferol [mg/kg]	0.028
Otros	0.022

2.1.6 Aceite de sacha inchi.

Plukentia volubilis es conocida como maní del Inca. Esta es nativa de la Amazonía en Sudamérica. Esta planta produce frutos en forma de estrella que tienen semillas dentro. Se sabe que fue cultivada por nativos por cientos de años para utilizar sus hojas y sus semillas como medicina para reumatismo y dolor de músculos. De las semillas se extrae el aceite y se produce harina. Así, se preparan alimentos, bebidas y productos cosméticos [28] [29].

La semilla de sacha inchi contiene alrededor del 41% en peso de aceite. El contenido del aceite de sacha inchi se puede ver en la Tabla 7 [30][31]. Los tocoferoles son sustancias responsables de la estabilidad oxidativa del aceite [31]. Es por su composición que puede ser usado para inflamación de la piel, como prevención y tratamiento de infecciones de la piel y por su poder anti oxidativo [32].

Tabla 7. Composición del aceite de sachá inchi

Compuesto	Contenido [%]
<i>Ácidos grasos saturados</i>	7
Ácido palmítico	4.5
Ácido esteárico	0.4
Otros	2.1
<i>Ácidos grasos monoinsaturado</i>	9
Ácido oléico	8.5
Otros	0.5
<i>Ácidos grasos poliinsaturados</i>	84
Ácido linoléico (Omega 6)	33
Ácido linolénico (Omega 3)	51
<i>Esteroles</i>	0.00034
<i>Tocoferoles</i>	0.239
γ -tocoferol [mg/kg]	0.114
β -tocoferol [mg/kg]	0.125

En Ecuador se encuentra aceite de semilla de sachá inchi. Un ejemplo de compañía que lo produce es EcuOmega. Esta produce cápsulas y botellas de aceite. El aceite tiene una presentación de 240 ml y tiene un precio de \$ 15.

2.2 Materias primas.

2.2.1 Crema base.

La crema base se prepara con aceites vegetales, emulsionantes solubles en agua y conservantes. Su función es proveer hidratación, conservación y emulsificación al producto final. Esta es propiedad de Atfarm y se elabora en su planta ubicada en Sangolquí, Ecuador. Debido a que esta es una parte fundamental del producto, la planta estará ubicada, de igual manera, en Sangolquí. Tiene un precio de \$ 26.77/kg y producen 300 kg cada 15 días o cada mes, dependiendo de la demanda para la elaboración de productos. Para la crema DGrizz Plus®, se utilizan 390 g de crema base por kg de crema [8].

2.2.2 Agua.

Como se mostró en la Tabla 2, la función del agua en la crema es ser una sustancia vehículo. El proveedor es el Municipio de Rumiñahui ya que la planta estará ubicada en Sangolquí. Dado que es un servicio básico, está disponible a demanda requerida. La tarifa industrial de agua potable es de \$ 0.54/m³ [33]. Esta se usa en distintas fases del proceso. Se utiliza como agua potable para lavar las semillas antes del secado. Sin embargo, para la elaboración de la crema el agua debe ser destilada. En la formulación se usa 455 g de agua por kg de crema.

2.2.3 Polímeros.

Los polímeros son sustancias formadas por la unión de moléculas más simples llamadas monómeros. En la Tabla 2, se indican los polímeros son Dimethicone/vinyl dimethicone crosspolymer (and) silica y acrylates/C10-30 alkyl acrylate crosspolymer. Estos tienen la función de aumentar la viscosidad y dar la textura a la crema; se mezclan con el agua para formar gel que se mantiene al enfriarse [34]. Estos compuestos son comprados a la empresa Cosphatech GmbH ubicada en Estados Unidos. El precio de ambas sustancias es de \$ 25/kg en el Ecuador, tomando en cuenta los aranceles de importación. Para la crema se necesitan 30 g de del primero y 20 g del segundo por kg de crema.

2.2.4 Semillas de moringa.

El proveedor de estas semillas es la Hacienda Don Juan, mencionada en la sección 1.1. Estas tienen un costo de \$ 30/kg y se puede conseguir 100 kg cada 6 meses debido a su ciclo de formación, ya que produce las vainas que contienen las semillas dos veces al año. De estas se extrae el aceite de la semilla, obteniendo alrededor de 200 g de aceite por kg de semilla. Sus propiedades y función en la crema se mencionaron en la sección 2.1.2. En la Tabla 2 se

identifica como *Moringa oleífera seed oil*. En la crema se utilizan 40 g de aceite de moringa por kg de crema.

2.2.5 *Aceite de aguacate.*

Se obtiene el aceite de aguacate de la empresa Uyamafarms S.A. Esta empresa está ubicada en Mira, Imbabura. Tiene un precio de \$ 9.50/kg. Sus bondades se explican en la sección 2.1.2. En la Tabla 2 se nombra como *Persea gratissima oil*. En la crema se utilizan 10 g de aceite de aguacate por kg de crema.

2.2.6 *Semillas de chía.*

Se emplean las semillas de chía de la plantación de chía de Atfarm ubicada en Otavalo. Su precio es de \$ 7/kg. En este cultivo, se cosecharon 16 toneladas, que se almacenan y usan a lo largo de un año y medio. Se obtiene alrededor de 200 g de aceite por kg de semilla y se usan 20 g de aceite por kg de crema. En la sección 2.1.2 se indican las propiedades de este aceite de chía y en la Tabla 2 se reconoce como *Salvia hispánica seed oil*.

2.2.7 *Semillas de maracuyá.*

La empresa La Jugosa, ubicada en Amaguaña, es el proveedor de las semillas de maracuyá. Se compra las semillas con estopa, que son los residuos de la pulpa, a un precio de \$ 20 los 50 kg de material húmedo. Después de lavarlas, desinfectarlas y secarlas resulta en alrededor de 25 kg de semilla seca. La frecuencia de obtención depende de la producción de pulpas en la empresa, por lo que se debe coordinar la entrega mensualmente. El proceso de extracción resulta en 200 g de aceite por kg de semilla y se utilizan 20 g de aceite de maracuyá por kg de crema. Se reconocen las propiedades del aceite en la sección 2.1.2 y se encuentra como *Passiflora edulis seed oil* en la Tabla 2.

2.2.8 Semillas de sacha inchi.

Las semillas de sacha inchi se obtienen de productores locales del oriente del Ecuador. Su precio es de \$ 2.20/kg y se pueden conseguir mensualmente [35]. De igual manera, se obtienen alrededor de 200 g de aceite por kg de semilla y se usan 15 g de aceite de sacha inchi por kg de crema. En la sección 2.1.6 se muestra la composición y los beneficios de su aceite, que en la crema se identifica como Plukenetia volubilis seed oil.

2.2.9 Envases.

Los tubos plásticos donde se envasa la crema son importados desde Colombia. Cada uno debe contener los 200 g de crema para su venta. Su costo es de \$ 0.85/envase en Ecuador, tomando en cuenta los aranceles e impuestos de importación. Además, los envases son serigrafiados, por lo que no se necesita etiquetarlos en la planta.

3. Proceso

3.1 Descripción del proceso general. [8]

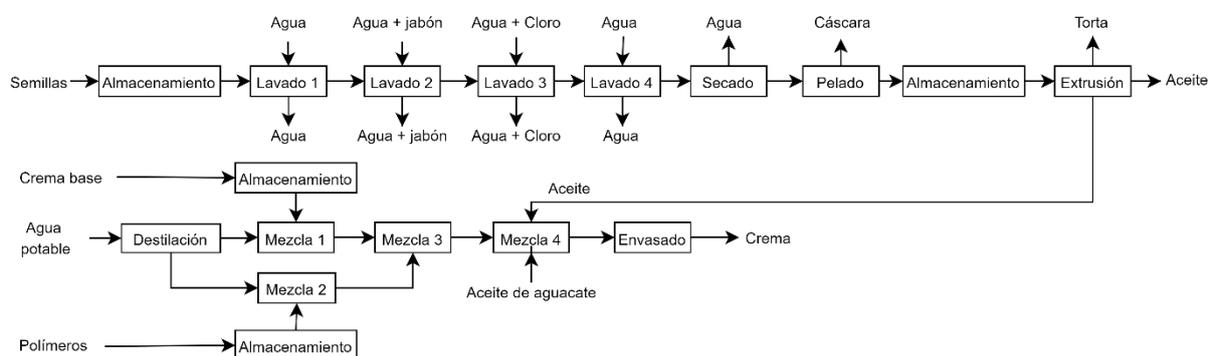


Figura 2. Diagrama de bloque

La Figura 2 muestra el diagrama de bloque para el proceso de producción de la crema. Las semillas que ingresan a la planta deben pasar por un proceso de limpieza. Este consiste en cuatro pasos: inicial con agua (lavado 1), con jabón (lavado 2), con cloro al 0.1% en peso

(lavado 3) y finalmente con agua (lavado 4). Estas etapas ocurren en el mismo equipo en distintos puntos del tiempo. Después, las semillas pasan a la unidad de secado. En esta, se reduce la humedad hasta alrededor de 8% en peso o menos. Las semillas de moringa y de sachá inchi deben pasar a la unidad de pelado, donde se remueve su cáscara para dejar solamente el núcleo. Una vez que las semillas están secas y peladas, se almacenan herméticamente. Para la extracción del aceite, se toma la cantidad de semillas necesarias por lote de extracción.

Por otro lado, se debe destilar el agua para su uso. Una parte del agua se mezcla con la crema base (mezcla 1) a 80 °C. La otra parte del agua se incorpora con los polímeros (mezcla 2) a temperatura ambiente. Se deja enfriar la mezcla 1 y cuando alcanza 60 °C, se añade la mezcla 2 (mezcla 3). Se enfría la última hasta 30 °C y se agregan los distintos aceites extraídos previamente (mezcla 4). Las mezclas 1, 3 y 4 se llevan a cabo en el mismo equipo. Finalmente, se procede a envasar y sellar para la venta. Para la producción de los aceites se utiliza el mismo procedimiento hasta la extracción y se los envasa para su comercialización.

3.2 Especificaciones del proceso.

3.2.1 *Secado.*

Una forma de realizar el secado de las semillas es por medio de su exposición a la energía solar. A pesar de que no se necesita inversión para equipos o energía con este método, este requiere varios días; se usa para escalas de producción pequeñas, pero puede exponer las materias primas a contaminación [36] [37]. También se puede emplear invernaderos como secadores solares indirectos; estos no hay una exposición directa al sol que puede dañar la materia y es más fácil integrar otras fuentes de energía que ayuden a reducir el tiempo necesario para secar las semillas. Su desventaja es que, a pesar de disminuir el tiempo necesario, este aún es largo y el costo del proceso aumenta porque se deben implementar flujos de aire [38].

Una forma común de secar semillas es el uso de secadores de bandejas. Estas se cargan sobre bandejas que se colocan en un gabinete; se usa un ventilador que recircula aire caliente que tiene contacto con las semillas. A pesar de ser ampliamente usado por su simplicidad de diseño y su alta capacidad, este no seca de manera uniforme. Esto se debe a que no hay una buena distribución del flujo de aire y su temperatura en la cámara, siendo esta su mayor desventaja [39] [40].

Para la planta se usará un secador rotatorio discontinuo. Este se puede adaptar para distintos tipos de semillas. Lo más importante de este sistema, es que, gracias a la rotación, el secado es uniforme en toda la carga; esto mejora la calidad del proceso al homogenizar el secado. Este no es un proceso continuo, sino se hace por cargas, por lo que la capacidad del tambor y el tiempo de secado se define por el volumen y tipo de las semillas [41].

3.2.2 Extracción del aceite.

Un método comúnmente utilizado para la obtención de aceites es la extracción por solvente. En este se utilizan solventes como el n-hexano, el cual se considera peligroso. A pesar de que este método tiene una alta eficiencia, en la actualidad hay una mayor consciencia ambiental y de salud por lo que se prefiere optar por métodos mecánicos por consideraciones económicas en cuanto al consumo de energía y la producción de residuos. Además, para el uso cosmético, se prefiere el uso de aceites que no hayan estado en contacto con solventes u otros químicos perjudiciales [42].

Otra opción es el uso de dióxido de carbono supercrítico. Este proceso involucra el uso de CO₂ a condiciones de alta presión y temperatura. De esta manera, tiene propiedades tanto de líquido como de gas. Se usa este compuesto como solvente debido a que no es tóxico, no es inflamable, es inerte y su costo es bajo. La ventaja de esta técnica de extracción es que tiene un alto rendimiento, como en la extracción por solventes, y una calidad alta, como en la extracción

por métodos físicos. Su rendimiento varía dependiendo el tipo de semilla, la presión, el tiempo y la temperatura de operación, pero generalmente rodea el 30% en peso, pudiendo ser mayor, hasta 90%, si se utilizan pretratamientos [43]. No obstante, los equipos necesarios y las condiciones de operación lo hacen un método costoso; un equipo puede costar desde alrededor de \$ 30,000 [44].

Otra alternativa es la extracción mediante extrusión, que es un método físico versátil ya que se puede usar el mismo equipo para distintos productos. Sus costos de operación son mínimos; sólo requiere energía, y no reactivos o condiciones especiales de operación. Sin embargo, se considera que tiene rendimientos bajos, que son de alrededor del 20%. Además, la humedad de las semillas afecta de gran manera el rendimiento [45]. El precio de este tipo de equipo oscila los \$ 5,000. Para esta planta se escogió este método debido a que la diferencia de rendimiento entre la extracción por fluidos supercríticos sin pretratamiento y la extrusión no es significativa, mientras que el capital necesario para la implementación de este método es menor.

3.3 Diseño del proceso.

Para el diseño del proceso, se definieron caudales y condiciones de operación de los distintos equipos. Las condiciones de operación se definieron según el proceso experimental ya utilizado y según información publicada. Para determinar los caudales y composiciones de las corrientes se realizaron balances de masa y para los requerimientos energéticos de los equipos balances de energía. En la Tabla 8 se muestra el calendario tentativo semanal para la producción en la planta.

Tabla 8. Calendario semanal de la planta

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
------------	--------------	---------------	------------------	---------------	----------------

Actividad	Recepción materiales, control de calidad tubos y etiquetas, etiquetado	Lavado, secado y pelado semillas	Extracción de aceites	Elaboración de crema y envasado	Distribución y limpieza profunda
------------------	--	----------------------------------	-----------------------	---------------------------------	----------------------------------

Los balances de masa se presentan en el Anexo A. Se partió del caudal de producto final definido anteriormente y se evaluó el proceso de cada equipo en cuanto a su eficiencia. Se asumió que las semillas no se hidratan más en el tanque de lavado porque el tiempo de contacto es corto, por lo que la masa de semilla que entra a este es la misma que sale. Para el secador, se tomaron en cuenta datos de bibliografía de secado de los distintos tipos de semillas, para evaluar su humedad inicial y cuánta agua pierde para alcanzar la humedad deseada. En el proceso de pelado, se estima en base a resultados experimentales que se pierde el 20% de la masa debido a la remoción de la cáscara. Para la extrusión se utilizó el dato experimental de una eficiencia del 20%, por lo que se puede calcular la alimentación de semillas según la cantidad de aceite requerido semanalmente. Se decidió realizar el proceso en 10 min para que el flujo sea considerable. Para la venta de los aceites, se estableció producir 16 frascos de 60 ml cada uno en concordancia con la presentación de uso cosmético en el mercado. Con los cálculos se realizó el diagrama de flujo para las semillas de moringa que se presenta en la Figura 3 y sus resultados en la Tabla 9. El proceso para las otras semillas es el mismo, sin embargo, las corrientes desde la 1 hasta la 22 son diferentes. Estas se presentan en el Anexo A. La corriente 1 es la más grande ya que la moringa se debe recibir dos veces al año debido a su periodo de cosecha. El resto de semillas se consiguen mensualmente, la crema base semanalmente y los polímeros anualmente. Las otras corrientes son pequeñas debido a que la producción semanal no es grande.

Los requerimientos energéticos de los equipos calculados se encuentran en el Anexo B y los resultados en la Tabla 10

Corriente	Flujo [kg/semana]	Corriente	Caudal [kg/semana]
------------------	--------------------------	------------------	---------------------------

1,2,5,8,11,14	20.91	26	18.73
3,4,6,7,9,10,12,13	111	27	16.546
15	13.41	28,29	1.092
16	7.5	30	2.964
17	1.295	31,32	0.24
18,19	5.175	33	1.332
20	4.14	34	4.296
21	0.843	35,36	0.048
22,23	0.192	37,38	4.8
24,25	1.872		

Tabla 10. Los equipos que necesitan calor son el secador y la mezcladora. Para el secador se asumió que el calor que necesita el equipo es el que pierde el aire dentro del mismo y que se usa para evaporar el agua, calentar el vapor, subir la temperatura de las semillas y las pérdidas por radiación, convección y conducción. El término más importante es el calor de evaporación, ya que la mayor parte de la energía consumida se usa para la evaporación del agua de las semillas. Se asumió que la temperatura de entrada del aire es de 50 °C para no perder sus propiedades [46]. El producto entra a temperatura ambiente, 18 °C y sale a la temperatura del bulbo húmedo del aire, 25 °C [47]. El calor que necesita el secador es mayor al que necesita la mezcladora. Esto se debe a que, el calor del secador se basó en las semillas de moringa, que tienen una humedad alta, por lo que se requiere gran cantidad de calor para evaporar el agua. Además, el volumen de mezcla que se debe calentar no es grande, por lo que se puede realizar rápidamente y sin la necesidad de mucho calor. Se estableció llegar a la temperatura final, 80 °C, en un periodo de 10 min. Un dato importante para el cálculo en la mezcladora es el calor específico de la crema, que no se conoce experimentalmente. Entonces, se hizo un promedio ponderado de los calores específicos del agua y el aceite de palma, que son los componentes en mayor cantidad.

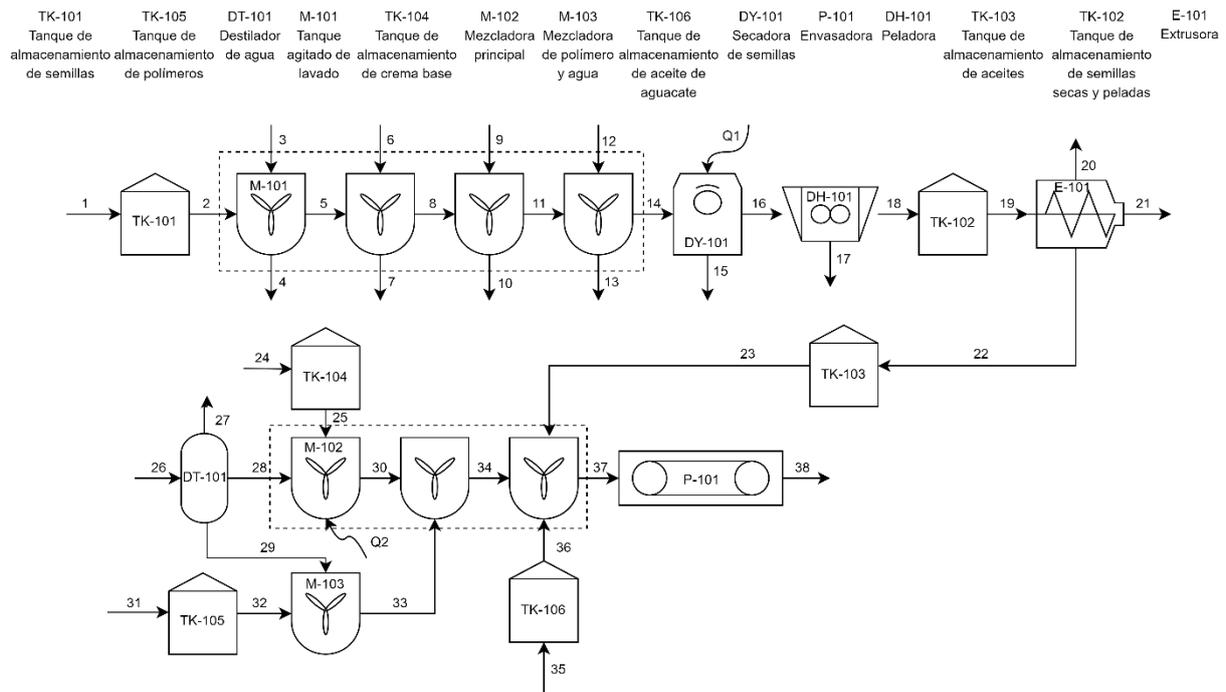


Figura 3. Diagrama de flujo para la semilla de moringa

Tabla 9. Resumen de corrientes másicas

Corriente	Flujo [kg/semana]	Corriente	Caudal [kg/semana]
1,2,5,8,11,14	20.91	26	18.73
3,4,6,7,9,10,12,13	111	27	16.546
15	13.41	28,29	1.092
16	7.5	30	2.964
17	1.295	31,32	0.24
18,19	5.175	33	1.332
20	4.14	34	4.296
21	0.843	35,36	0.048
22,23	0.192	37,38	4.8
24,25	1.872		

Tabla 10. Resumen de corrientes de calor

Corriente	Calor [kJ]
Q1	31634.90
Q2	488.82

Se pudo diseñar el proceso con las condiciones de operación y balances de masa y energía. A partir de los resultados obtenidos se puede determinar la capacidad de los equipos,

la cantidad de materia prima que se necesita adquirir para la producción semanal, y el consumo energético de los equipos en la planta.

4. Diseño de la planta

4.1 Dimensionamiento.

Para el dimensionamiento de los equipos, se partió de la capacidad calculada en el Anexo A y la sección 3.3. A partir de esto datos, información hallada en la bibliografía y distintos parámetros importantes para cada equipo, se realizaron los cálculos necesarios para obtener las dimensiones respectivas para cada equipo del proceso.

Una vez secas, las semillas se reciben y se almacenan en tanques. Ya que son sólidos, al igual que los polímeros, se usan tanques de techo cónico y fondo plano (Figura 8). Los aceites extraídos y la crema base también se guardan en tanques, pero al ser líquidos, se usa techo cónico y fondo elipsoidal (Figura 10). El dimensionamiento de estos recipientes se presenta en el Anexo C y los resultados se muestran en la Tabla 11. Dado que el diámetro de los tanques es menor a 15 m, el espesor de la pared de todos se define en 4.76 mm. La capacidad está sobredimensionada ya que se obtuvo la altura total con el techo y el fondo, y se calculó el volumen total con esta altura y considerándolo un cilindro. Se necesitan dos tanques para las semillas de moringa que se reciben para facilitar su manipulación. Para el cálculo de los tanques de la semilla de sacha inchi recibidas y peladas se usaron los datos experimentales de la semilla de moringa a falta de información de sacha inchi.

Tabla 11. Dimensión de tanques de almacenamiento

Símbolo	Contenido	Capacidad	Diámetro	Altura
TK-101	Semillas de moringa (2)	2.16	1.40	1.40
	Semillas de chía	0.043	0.301	0.605
	Semillas de maracuyá	0.055	0.326	0.654

	Semillas de sachá inchi	0.250	0.541	1.09
TK-102	Semillas de moringa peladas	0.539	0.699	1.40
	Semillas de chá secas secas	0.041	0.297	0.597
	Semillas de maracuyá secas	0.043	0.301	0.605
	Semillas de sachá inchi peladas	0.078	0.367	0.737
TK-103	Aceite de moringa	0.0021	0.106	0.240
	Aceite de chá	0.0018	0.100	0.226
	Aceite de maracuyá	0.0019	0.103	0.233
	Aceite de sachá inchi	0.0018	0.100	0.226
TK-106	Aceite de aguacate	0.00047	0.060	0.165
TK-104	Crema base	0.0028	0.117	0.264
TK-105	Polímeros	0.00097	0.085	0.171

Para el lavado, el mismo que actualmente se hace de forma manual, se decidió implementar tanques con agitación lenta. Se calcularon las dimensiones del tanque y del agitador en el Anexo D y los resultados se muestran en la Tabla 12. Este cálculo se basó en las semillas de moringa, que son las que se usan en mayor cantidad, pero se usa el mismo equipo para todas las semillas. Se asumió que se usa el mismo volumen de agua que de semillas para cada lavado. Se escogió una velocidad de agitación baja, 15 rpm, debido a que no se necesita mezclar, sino solamente agitar para lavar las semillas. También se escogió un tiempo de lavado corto de 5 min, porque no se necesita más tiempo para un lavado efectivo.

Tabla 12. Dimensión del tanque para el lavado M-101

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen del tanque	[m ³]	0.357
Diámetro del tanque	[m]	0.609
Altura del tanque		1.223
Diámetro del agitador		0.152
Ancho de las aspás		0.019
Ancho de la placa deflectora		0.051
Distancia del fondo al agitador		0.152
Tiempo de agitación		[min]
Velocidad de agitación	[rpm]	15
Potencia del motor	[kW]	2.7E-6

Para el secador rotatorio discontinuo se utilizó la metodología presentada en el Anexo E y la Para la peladora, se determinó la cantidad de semillas que debe procesar de

acuerdo con las semillas de moringa. El rodillo es la parte fundamental del equipo, por lo que se calcula la potencia del motor que se requiere para romper las semillas. Las únicas semillas que necesitan este proceso son las de moringa y sachá inchi. El cálculo se encuentra en el Anexo F y los resultados se muestran en la

Tabla 14.

Tabla 13 evidencia los resultados. El tiempo de secado depende de la humedad inicial de cada semilla. Las dimensiones del tanque se calcularon a partir de la semilla de moringa, al igual que el tanque de lavado, ya que es el que mayor volumen ocupa. Se escogió una velocidad de giro lenta debido a que el movimiento se necesita únicamente para que la humedad no se quede retenida entre las semillas y el secado sea uniforme.

Para la peladora, se determinó la cantidad de semillas que debe procesar de acuerdo con las semillas de moringa. El rodillo es la parte fundamental del equipo, por lo que se calcula la potencia del motor que se requiere para romper las semillas. Las únicas semillas que necesitan este proceso son las de moringa y sachá inchi. El cálculo se encuentra en el Anexo F y los resultados se muestran en la

Tabla 14.

Tabla 13. Dimensión del secador DY-101

Parámetro	Unidad	Valor
Tiempo	[h]	1.51
Temperatura del aire	[°C]	°
Flujo de aire	[kg/s]	0.58
Volumen del tanque	[m ³]	0.49
Diámetro del tanque	[m]	0.°
Longitud del tanque	[m]	2.50
Velocidad de giro del tanque	[rpm]	14
Potencia del motor	[kW]	0.015

Tabla 14. Dimensión de la peladora DH-101

Parámetro	Unidad	Valor
Flujo de semillas	[semillas/segundo]	345

Potencia del motor	[kW]	0.063
--------------------	------	-------

La extrusora es un equipo fundamental de la planta para obtener tanto el aceite que se añade a la crema como el que se comercializa. Se diseñó una extrusora de tornillo que es común para la extracción de aceite de semilla. Para esto se calcularon los flujos procesados, las dimensiones del tornillo, la potencia del motor y la presión máxima que ejerce. Los cálculos se realizan en el Anexo G y los resultados finales se resumen en la Tabla 15. En la Figura 4 se muestra un esquema del tornillo con sus medidas. El dimensionamiento se basa en el aceite de moringa porque este se usa en mayor cantidad. El resto de aceites se extraen en el mismo equipo, pero como se necesita menos aceite se lo obtiene en un menor tiempo.

Para el destilador se debe calcular únicamente el volumen de agua que se necesita semanalmente para la producción. Esto se determina en el Anexo A en el balance de masa para el destilador y el resultado se muestra en la Tabla 16.

Tabla 15. Dimensión de la extrusora E-101

Parámetro	Unidad	Valor
Flujo de entrada	[m ³ /h]	0.086
Flujo de salida		0.043
Flujo de aceite		0.0071
Flujo de la torta		0.036
Potencia del motor	[kW]	3
Velocidad de rotación	[rpm]	30
Ángulo de hélice de aspas	°	16
Diámetro del tornillo	[m]	0.058
Paso del tornillo		0.052
Profundidad del canal		0.018
Longitud del tornillo		0.580
Presión máxima	[Pa]	271.3

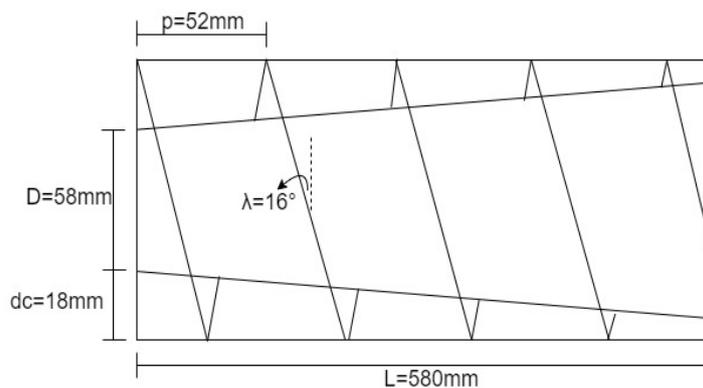


Figura 4. Diagrama del tornillo con sus medidas

Tabla 16. Dimensión del destilador DT-101

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen de agua	$[\text{m}^3]$	0.0022

Para las dos mezcladoras cerradas se determinaron las dimensiones del tanque de acuerdo con la cantidad de producto que se debe mezclar: para la primera mezcladora, se tomó el volumen final y conteniendo todos los componentes para estimar la capacidad. Además, se calculan los parámetros del agitador y su motor, así como las condiciones del proceso como tiempo y velocidad de agitación. El tiempo de mezclado en la primera mezcladora es largo ya que la viscosidad de la crema es alta; se necesita mezclarla un tiempo prolongado para conseguir que se homogenice. El tiempo de enfriamiento es corto porque el volumen de mezcla que se debe enfriar es reducido y el calor se puede disipar rápidamente. El tiempo de mezclado en la segunda mezcladora es corto debido a que se tiene un gran volumen de agua y poca cantidad de polímeros. Los cálculos pertinentes se realizan en el Anexo H y los resultados para las dos mezcladoras se resumen en la Tabla 17.

Tabla 17. Dimensión de las mezcladoras

Parámetro	Unidad	Mezcladora M-102	Mezcladora M-103
Volumen del tanque	$[\text{m}^3]$	0.0072	0.0027
Diámetro del tanque		0.166	0.119

Altura del tanque	[m]	0.333	0.239
Diámetro del agitador		0.0415	0.0298
Ancho de las aspas		0.005	0.004
Ancho de la placa deflectora		0.0138	0.010
Distancia del fondo al agitador		0.0415	0.0298
Tiempo de agitación	[h]	6.8	0.018
Velocidad de agitación máxima	[rpm]	500	500
Potencia del motor	[kW]	6E-3	1E-5
Tiempo de enfriamiento	[h]	0.096	-

Para la envasadora se establece el volumen a envasar, la capacidad de envasado y la cantidad de producto por envase. Como se determinó que se producen 24 tubos de crema de 200 g semanalmente, este es el valor mínimo, ya que si se aumentan los productos a futuro se necesitaría una capacidad de envasado mayor. Los cálculos se encuentran en el Anexo I y los resultados en la Tabla 18.

Tabla 18. Dimensión de la envasadora P-101

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen de alimentación	[m ³]	0.0036
Volumen mínimo envasado	[ml]	149.25
Número de envases	-	24

Se logró dimensionar los equipos necesarios para la planta de producción de la crema y los aceites de semilla. El mayor número de equipos pertenecen a los tanques de almacenamiento. El tamaño de los equipos es pequeño debido a que la producción semanal es reducida; sin embargo, la mayoría de equipos pueden ser usados para la elaboración de otros productos cuando no son utilizados para la crema. Con estos resultados es posible calcular el costo de cada equipo y realizar el análisis económico de la implementación y operación de la planta.

5. Análisis económico

5.1 Costos.

Para la determinación de los costos, primero se calculó el valor de cada equipo y su instalación de acuerdo con el método factorial detallado. Los otros costos se derivaron del primero.

La inversión del capital fijo incluye los costos totales de diseño, construcción e instalación de la planta. Primero se obtuvo la inversión dentro de los límites internos de la planta (ISBL), que corresponde al costo de los equipos y de la planta en sí. Para el costo de los equipos adquiridos en el exterior, se consideró un incremento del 40% de su precio debido a los aranceles de importación. En el método factorial detallado, se debe analizar qué factor aplica a cada equipo; los factores de montado, eléctrico, civil y de estructura se aplicaron a todos los equipos, pero su valor cambia en función de si procesa sólidos o líquidos. El factor de material no aplica para los equipos adquiridos comercialmente; para los que aplica se define dependiendo del material usado. Cuando se procesan materiales que no forman parte del producto final el material de los equipos debe ser acero inoxidable, en caso contrario se asume acero al carbono. No se aplicaron los factores de tuberías e instrumentación ya que, al ser un proceso discontinuo, se controla y transporta manualmente. El factor de recubrimiento solamente se aplicó al secador porque este debe estar aislado para evitar pérdidas de calor. El precio de los tanques de almacenamiento es alto en comparación con otros equipos de mayor importancia. Este costo se podría reducir si se encuentran tanques en el mercado que cumplan con las especificaciones. Este análisis se realizó en el Anexo J y la Tabla 19 presenta los resultados obtenidos. Este método tiene una precisión de $\pm 10\%$, por lo que el rango está entre \$ 314,074.40 y \$ 383,868.70. Sin embargo, se usa el precio promedio para el resto de cálculos.

Tabla 19. Resumen del costo de los equipos

Equipo	s	Unidades	Ce [\$]	Ct [\$]
Tanque moringa	2.16	[m ³]	6900.10	28290.39
Tanque moringa pelada	0.539	[m ³]	6154.16	12616.03
Tanque aceite moringa	0.0021	[m ³]	5709.35	13131.50
Tanque chia	0.043	[m ³]	5777.36	11843.59
Tanque chia seca	0.0041	[m ³]	5774.83	11838.39
Tanque aceite chia	0.0018	[m ³]	5708.39	13129.30
Tanque maracuyá	0.055	[m ³]	5791.91	11873.41
Tanque maracuyá seca	0.043	[m ³]	5777.36	11843.59
Tanque aceite marcuya	0.0019	[m ³]	5708.71	13130.04
Tanque sachá inchi	0.250	[m ³]	5965.25	12228.76
Tanque sachá inchi pelada	0.078	[m ³]	5817.37	11925.61
Tanque aceite sachá inchi	0.0018	[m ³]	5708.39	13129.30
Tanque aceite aguacate	0.00047	[m ³]	5703.28	13117.54
Tanque crema base	0.0028	[m ³]	5711.43	13136.29
Tanque polímeros	0.00097	[m ³]	5705.44	26815.58
Tanque lavado	0.357	[m ³]	6040.38	13288.84
	0.0000006	[kW]	4300.02	9460.04
Secador	3.77	[m ²]	6961.39	14618.92
Peladora	-	-	1500	2205
Extrusora	-	-	9130	15338.40
Destilador agua	-	-	230	322
Mezcladora 1	0.0072	[m ³]	14487.14	33320.42
Mezcladora 2	0.0027	[m ³]	4316.72	9928.45
	0.00001	[kW]	11000.04	25300.10
Envasadora	-	-	5100	7140
			Costo total	348971.50

Adicionalmente, se estimaron la inversión fuera del límite de la planta (OSBL), el costo de ingeniería y construcción, y gastos imprevistos. El OSBL es el costo por modificaciones que involucran un costo adicional por el impacto social de una expansión de la planta. Los costos de ingeniería y construcción son aquellos relacionados al diseño detallado. Los gastos imprevistos se deben considerar para posibles variaciones en la estimación realizada. El capital de trabajo es el dinero adicional necesario para la puesta en marcha de la planta. Finalmente, se calcularon los costos variables, que dependen del nivel de producción, y fijos, que no. Los costos variables incluyeron las materias primas, y el consumo de luz y agua anual. En los costos fijos se tomó en cuenta el salario básico anual de un operario, ya que no se necesita más personal porque la producción no lo amerita. Además, se consideró el mantenimiento, gastos

generales y el impuesto predial. Estos costos se detallan en el Anexo J y se resumen en la Tabla 20.

Tabla 20. Costo total

Componente	Valor anual [\$]
ISBL	348971.50
OSBL	139588.60
Ingenieria y construccion	48856.01
Gastos imprevistos	73284.02
Capital de trabajo	24428.01
Costos produccion variables	15249.11
Costos produccion fijos	28065.09
Total	706507.40

Fue posible estimar los costos de adquisición de los equipos e implementación de la planta a partir de los cálculos realizados anteriormente y de relaciones entre el ISBL y el resto de costos. El costo total es la inversión inicial que se debe realizar para operar la planta.

5.2 Ingresos.

Para el cálculo de los ingresos se consideró la venta de los productos, el costo de la materia prima, de los costos fijos y variables, y los impuestos. El ingreso es el dinero que se obtiene de la venta de la crema y los aceites. El margen considera el costo de las materias primas, mientras que el beneficio bruto toma en cuenta los costos variables y fijos. El beneficio neto incluye impuestos. En el presente análisis, el impuesto más significativo sería el impuesto a la renta, que se consideró nulo, ya que para la base imponible se debe considerar los gastos incurridos. Este incluye los costos fijos y variables, pero también la depreciación de los equipos en un plazo de 10 años, lo que equivale al 10% del valor de los equipos al año. Dado que, al considerar estos gastos, la base imponible es menor a 0, no se debe pagar impuesto ese año. Es por esto que el beneficio neto es el mismo valor que el beneficio bruto. Los cálculos realizados están en el Anexo K y los resultados se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Ingresos

Componente	Valor anual [\$]
Ingresos	64309.44
Margen	49067.22
Beneficio bruto	20995.24
Beneficio neto	20995.24

Se logró estimar los ingresos considerando los precios de venta al público establecidos y los otros componentes hicieron referencia a ciertos costos. Con el beneficio neto anual se puede calcular el tiempo de retorno de la inversión para evaluar la factibilidad de la construcción de la planta.

5.3 Tiempo de recuperación.

Para el tiempo de recuperación se analizaron dos aspectos relacionados: la tasa interna de retorno (ROI) y el tiempo de recuperación. El primero es el porcentaje de la inversión inicial que se recupera anualmente. El segundo es el tiempo que toma recuperar la inversión total. Estos aspectos se calculan en el Anexo L y se muestran en la Tabla 22. Es importante destacar que estos cálculos asumen que la inversión se hace en el mismo momento donde se inicia la producción de la planta y que los ingresos se obtienen inmediatamente; esto no es realista ya que las inversiones se realizan en un periodo de 1 a 3 años y los ingresos empiezan generalmente en el segundo año. El ROI calculado indica un retorno bajo. El tiempo en el que se recupera la inversión inicial es largo para un proyecto dado que se busca recuperar la inversión inicial en un plazo de 5 a 7 años. Se puede realizar un cálculo inverso para determinar el número de unidades que se debe producir para recuperar la inversión en un plazo de 7 años. Si se mantiene el mismo número de aceites que se venden, se calcula que se deben producir alrededor de 80 tubos de crema semanalmente.

Tabla 22. Tiempo de recuperación

Aspecto	Valor
----------------	--------------

ROI [%]	2.97
Tiempo [años]	33.65

Se logró calcular el ROI y el tiempo de retorno de la inversión a partir de la inversión inicial y el beneficio neto anual. Dado que este tiempo es largo para la producción estimada anual, no es factible realizar esta planta bajo los parámetros establecidos inicialmente.

6. Conclusión

Se determinó que es posible realizar la producción de la crema y de los aceites en un proceso semicontinuo semanal con la ayuda de un solo operador. Los caudales semanales son bajos dada la pequeña producción. El caso que mayor atención requiere es la recepción de las semillas de moringa que es semestral, por lo que el volumen es considerable. Los únicos equipos que requieren transmitir calor son el secador y la primera mezcladora.

Con respecto al dimensionamiento de cada equipo, fue posible calcular sus capacidades necesarias y sus parámetros de operación. Los equipos son pequeños ya que semanalmente no se procesan grandes cantidades de cada material. Se determinó que se necesitan varios tanques de almacenamiento debido a la producción semicontinua y a la variedad de materia prima.

El análisis económico se hizo mediante el análisis de costos, ingresos y tiempo de recuperación. El costo de los equipos, el mismo que constituye el monto más importante dentro de la inversión, es elevado; este se podría disminuir mediante la compra directa de algunos equipos evitando su construcción. El beneficio neto anual es alto considerando la pequeña producción. Sin embargo, este no es suficiente para recuperar la inversión inicial en un tiempo prudente.

El tiempo de recuperación deseado es no mayor a 7 años, mientras que el resultado calculado fue alrededor de 33 años. Para reducir este tiempo, se debería producir la misma

cantidad de aceites, pero se debería incrementar el caudal de producción del producto principal de 24 a 80 tubos de 200 g semanalmente; este no es un caudal de producción inalcanzable, pero no justifica producir esa cantidad inicialmente ya que el mercado no es lo suficientemente grande para vender ese volumen. Para alcanzar este número de unidades, o uno mayor, se pueden ingresar los productos a cadenas de supermercados grandes del país para su venta, lo que implicaría un sacrificio en la ganancia neta del productor. Otra opción sería exportar los productos para su venta en el mercado exterior, lo cual requeriría una inversión adicional. Con la producción inicial estimada, se puede afirmar que la construcción de una planta para la producción de la crema DGrizz Plus® y los aceites de semilla no es factible mientras no cambien las condiciones actuales.

7. Referencias

- [1] I. Martínez, “Corriente galvánica aplicada a la estética, en la ionización de ácido hialurónico como principio activo en el tratamiento de la deshidratación cutánea facial en pacientes de sexo femenino, de 25 a 35 años de edad que acuden al Centro Estético Mariana Mosq,” Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2014.
- [2] Perú Retail, “Ecuador: Industria cosmética crecería al menos 5% en facturación,” *Perú Retail*, 2019.
- [3] A. C. Alvarado, “La oferta de cosmética natural crece en Quito | El Comercio,” *El Comercio*, 2016.
- [4] El Productor, “Ecuador: La moringa, una planta que siembra negocios | Noticias Agropecuarias,” *El Productor*, 2017.
- [5] Ecuamoringa, “Productos – Ecuamoringa,” 2015. [Online]. Available: <http://ecuamoringa.com/productos/#idalmendras>. [Accessed: 26-Feb-2020].
- [6] C. R. Malacrida and N. Jorge, “Yellow passion fruit seed oil (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*): Physical and chemical characteristics,” *Brazilian Arch. Biol. Technol.*, vol. 55, no. 1, pp. 127–134, 2012, doi: 10.1590/S1516-89132012000100016.
- [7] La Hora, “6 millones de ecuatorianos son parte de la clase media,” *Noticias: País*, 2019. [Online]. Available: <https://www.lahora.com.ec/noticia/1102289963/6-millones-de-ecuatorianos-son-parte-de-la-clase-media>. [Accessed: 27-Apr-2020].
- [8] R. Valdez, “Entrevista con Juan Carlos Yépez, dueño del laboratorio Atfarm.” Quito, 2020.
- [9] G. Folkard and J. Sutherland, “Moringa oleifera un árbol con enormes potencialidades,” *Agrofor. Today*, vol. 8, no. 3, pp. 5–8, 1996.

- [10] B. K. Sujatha and P. Patel, "Moringa Oleifera – Nature ' s Gold," *Imp. J. Interdiscip. Res.*, vol. 3, no. 5, pp. 1175–1179, 2017.
- [11] A. Leone, A. Spada, A. Battezzati, A. Schiraldi, J. Aristil, and S. Bertoli, "Moringa oleifera seeds and oil: Characteristics and uses for human health," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 17, no. 12. MDPI AG, 20-Dec-2016, doi: 10.3390/ijms17122141.
- [12] A. S. Bhatnagar and A. G. Gopala Krishna, "Natural antioxidants of the Jaffna variety of Moringa Oleifera seed oil of Indian origin as compared to other vegetable oils," *Grasas y Aceites*, vol. 64, no. 5, pp. 537–545, Oct. 2013, doi: 10.3989/gya.010613.
- [13] G. Mulugeta and A. Fekadu, "Industrial and Agricultural Potentials of Moringa," Online, 2014.
- [14] A. Woolf *et al.*, "Avocado Oil," *Gourmet Heal. Spec. Oils*, pp. 73–125, Mar. 2009, doi: 10.1016/B978-1-893997-97-4.50008-5.
- [15] P. Bora, N. Narain, R. Rocha, and M. Paulo, "Characterization of the oils from the pulp and seeds of avocado (cultivar: Fuerte) fruits | Bora | *Grasas y Aceites*," *Grasas y Aceites*, vol. 52, no. 3–4, pp. 171–174, 2001, doi: <https://doi.org/10.3989/gya.2001.v52.i3-4.353>.
- [16] M. Wong, C. Requejo-Jackman, and A. Woolf, "What is unrefined, extra virgin cold-pressed avocado oil?," *Inform. Int. News Fats, Oils, Relat. Mater.*, vol. 21, no. 4, pp. 198-201,259, 2010.
- [17] M. Naturals, "Mira Naturals » Extra Virgin Avocado Oil," 2020. [Online]. Available: <http://miranaturals.com/aceite-de-aguacate-extra-virgen-sabor-original/?lang=en#1469652472322-dbbfa867-cea5bc83-ba57f098-2037a6d6-3cde>.

[Accessed: 26-Feb-2020].

- [18] L. A. Muñoz, A. Cobos, O. Diaz, and J. M. Aguilera, “Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration,” *J. Food Eng.*, vol. 108, no. 1, pp. 216–224, Jan. 2012, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2011.06.037.
- [19] R. Ullah *et al.*, “Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review,” *Journal of Food Science and Technology*, vol. 53, no. 4. Springer India, pp. 1750–1758, 01-Apr-2016, doi: 10.1007/s13197-015-1967-0.
- [20] R. da S. Marineli, É. A. Moraes, S. A. Lenquiste, A. T. Godoy, M. N. Eberlin, and M. R. Maróstica, “Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.),” *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 59, no. 2P2, pp. 1304–1310, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.lwt.2014.04.014.
- [21] O. N. Ciftci, R. Przybylski, and M. Rudzińska, “Lipid components of flax, perilla, and chia seeds,” *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, vol. 114, no. 7, pp. 794–800, Jul. 2012, doi: 10.1002/ejlt.201100207.
- [22] Casa Barukcic, “Aceite de Chía - Casa Barukcic,” 2020. [Online]. Available: <https://casabarukcic.com/producto/aceite-de-chia/>. [Accessed: 01-Mar-2020].
- [23] M. Montalvo, “Estudio de chia y cocina de autor,” Universidad Internacional del Ecuador, 2016.
- [24] C. B. M. Cerqueira-Silva, L. D. H. C. S. Conceição, A. P. Souza, and R. X. Corrêa, “A history of passion fruit woodiness disease with emphasis on the current situation in Brazil and prospects for Brazilian passion fruit cultivation,” *European Journal of Plant Pathology*, vol. 139, no. 2. Kluwer Academic Publishers, pp. 255–264, 15-Jun-2014, doi: 10.1007/s10658-014-0391-z.

- [25] Y. Matsui *et al.*, “Extract of passion fruit (*Passiflora edulis*) seed containing high amounts of piceatannol inhibits melanogenesis and promotes collagen synthesis,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 58, no. 20, pp. 11112–11118, Oct. 2010, doi: 10.1021/jf102650d.
- [26] G. Piombo *et al.*, “Characterization of the seed oils from kiwi (*Actinidia chinensis*), passion fruit (*Passiflora edulis*) and guava (*Psidium guajava*),” *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, vol. 13, no. 2–3, pp. 195–199, Mar. 2006, doi: 10.1051/ocl.2006.0026.
- [27] A. Z. Mercadante, G. Britton, and D. B. Rodriguez-Amaya, “Carotenoids from Yellow Passion Fruit (*Passiflora edulis*),” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 46, no. 10, pp. 4102–4106, Oct. 1998, doi: 10.1021/jf9801724.
- [28] M. D. Guillén, A. Ruiz, N. Cabo, R. Chirinos, and G. Pascual, “Characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) Oil by FTIR spectroscopy and ¹H NMR. Comparison with linseed oil,” *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 80, no. 8, pp. 755–762, Aug. 2003, doi: 10.1007/s11746-003-0768-z.
- [29] C. Fanali *et al.*, “Chemical characterization of Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 59, no. 24, pp. 13043–13049, Dec. 2011, doi: 10.1021/jf203184y.
- [30] L. F. Gutiérrez, L. M. Rosada, and Á. Jiménez, “Chemical composition of sacha inchi (*plukenetia volubilis* l.) seeds and characteristics of their lipid fraction,” *Grasas y Aceites*, vol. 62, no. 1, pp. 76–83, Jan. 2011, doi: 10.3989/gya044510.
- [31] L. A. Follegatti-Romero, C. R. Piantino, R. Grimaldi, and F. A. Cabral, “Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds,” *J. Supercrit. Fluids*, vol. 49, no. 3, pp. 323–329, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.supflu.2009.03.010.

- [32] G. Gonzalez-Aspajo, H. Belkhelfa, L. Haddioui-Hbabi, G. Bourdy, and E. Deharo, "Sacha Inchi Oil (*Plukenetia volubilis* L.), effect on adherence of *Staphylococcus aureus* to human skin explant and keratinocytes in vitro," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 171, pp. 330–334, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.jep.2015.06.009.
- [33] Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Cantón Rumiñahui, "Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial Cantón Rumiñahui 2012-2025.," 2015.
- [34] L. Z. Rogovina, V. G. Vasil'ev, and E. E. Braudo, "Definition of the concept of polymer gel," *Polym. Sci. - Ser. C*, vol. 50, no. 1, pp. 85–92, Sep. 2008, doi: 10.1134/S1811238208010050.
- [35] El Productor, "Ecuador: En Archidona y Tena agricultores viven de la comercialización de Sacha Inchi," 2017.
- [36] M. S. Sontakke and S. P. Salve, "Solar Drying Technologies: A review," 2015.
- [37] V. Belessiotis and E. Delyannis, "Solar drying," *Sol. Energy*, vol. 85, no. 8, pp. 1665–1691, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.solener.2009.10.001.
- [38] M. Ché, "Proceso de secado de chile en un secador solar indirecto," Universidad de Quitnana Roo, 2007.
- [39] G. Miranda, "Evaluación del proceso de secado de granos de cacao fermentado, en un secador de bandejas con convección forzada de aire," Universidad de Oriente, 2011.
- [40] E. S. Suhaimi Misha, Sohif Mat, Mohd Ruslan, Kamaruzzaman Sopian, "The Prediction of Drying Uniformity in Tray Dryer System using CFD Simulation," *Int. J. Mach. Learn. Comput.*, vol. 3, no. 5, 2013, doi: 10.7763/IJMLC.2013.V3.352.
- [41] Pinhalense, "MANUAL PARA SECADORA ROTATIVAS SRE - SRP - SRC," 2005. [Online]. Available: <https://pdfslide.net/engineering/manual-secadora-pinhalense-sre->

- 150x-series.html. [Accessed: 04-Mar-2020].
- [42] E. Uitterhaegen and P. Evon, “Twin-screw extrusion technology for vegetable oil extraction: A review,” *J. Food Eng.*, vol. 212, pp. 190–200, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2017.06.006.
- [43] A. Rajaei, M. Barzegar, and Y. Yamini, “Supercritical fluid extraction of tea seed oil and its comparison with solvent extraction,” *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 220, no. 3–4, pp. 401–405, Mar. 2005, doi: 10.1007/s00217-004-1061-8.
- [44] J. C. F. Jodhner and M. A. de A. Meireles, “Construction of a supercritical fluid extraction (SFE) equipment: Validation using annatto and fennel and extract analysis by thin layer chromatography coupled to image,” *Food Sci. Technol.*, vol. 36, no. 2, pp. 210–247, Apr. 2016, doi: 10.1590/1678-457X.0027.
- [45] M. I. Jahirul *et al.*, “Optimisation of bio-oil extraction process from Beauty Leaf (*Calophyllum inophyllum*) oil seed as a second generation biodiesel source,” in *Procedia Engineering*, 2013, vol. 56, pp. 619–624, doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.168.
- [46] C. Ordóñez-Santos, L. Eduardo, O. Portilla, M. Alejandra, R. Rodríguez, and D. Ximena, “Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava* L.),” *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 10, no. 2, pp. 44–51, 2013.
- [47] T. Varzakas and C. Tzia, *Food Engineering Handbook: Food Process Engineering*. Florida: CRC Press, 2014.
- [48] N. Eman and K. Muhamad, “Comparison of Moringa Oleifera seeds oil characterization produced chemically and mechanically,” *Int. Conf. Chem. Bioprocess Eng.*, vol. 36, pp. 9–12, 2015.
- [49] M. R. Segura-Campos, N. Ciau-Solís, G. Rosado-Rubio, L. Chel-Guerrero, and D.

- Betancur-Ancona, “Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Yucatán, México,” vol. 5, no. 3, pp. 220–226, 2014, doi: 10.4236/as.2014.53025.
- [50] A. Giuffré, “Chemical composition of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims var. *edulis*) seed oil,” *Riv. Ital. Delle Sostanze Grasse*, vol. 84, no. 2, 2007.
- [51] O. Fadele and A. Aremu, “Design, construction and performance evaluation of a *Moringa oleifera* seed shelling machine,” *Eng. Agric. Environ. Food*, pp. 1–7, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eaef.2016.01.002>.
- [52] A. K. Aremu and A. Akintola, “Drying Kinetics of *Moringa (Moringa oleifera)* Seeds,” *J. Life Sci. Technol.*, vol. 4, no. 1, 2016, doi: 10.18178/jolst.4.1.7-10.
- [53] E. Guiotto, V. Ixtaina, M. Tomás, and S. Nolasco, “Moisture-Dependent Engineering Properties of Chia (*Salvia hispanica* L.) Seeds,” in *Food Industry*, InTech, 2013.
- [54] M. E. V. de Araujo, E. G. Barbosa, A. C. L. de Oliveira, R. S. Milagres, F. de A. de C. Pinto, and P. C. Corrêa, “Physical properties of yellow passion fruit seeds (*Passiflora edulis*) during the drying process,” *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 261, p. 109032, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.scienta.2019.109032.
- [55] D.-S. Kim and N. Joo, “Nutritional composition of Sacha inchi (*Plukenetia Volubilis* L.) as affected by different cooking methods,” *Int. J. Food Prop.*, vol. 22, no. 1, pp. 1235–1241, Jan. 2019, doi: 10.1080/10942912.2019.1640247.
- [56] N. A. Aviara *et al.*, “Effects of moisture content and temperature on the specific heat of soya bean, *Moringa oleifera* seed and *Mucuna flagellipes* nut,” *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 87–92, 2011, doi: 10.3965/j.ijabe.2011.04.01.087-092.
- [57] J. Sper and I. Torres, “Diseño de una Planta Deshidratadora de Banano usando Secador Rotatorio,” Escuela Superior Politécnica el Litoral, 2009.

- [58] M. Omofoyewa, L. Popoola, and A. Giwa, “Optimization of Drying Parameters of Moringa Seeds in a Tray Dryer Using Box-Behnken Technique of RSM,” *Int. J. Eng. Res. Africa*, vol. 32, pp. 86–99, 2017, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.32.86>.
- [59] S. Rincón and D. Martínez, “Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria,” *Revista Palmas*, pp. 11–24, 2009.
- [60] Inglesa, “Diseño y Cálculo de Tanques de Almacenamiento.”
- [61] B. Sieiro, G. Garcia, M. Servera, R. Tkatchenko, and R. Ferra, “Manual de cálculo, Capítuo XI, Planta de producción de ácido fórmico,” Barcelona, 2015.
- [62] L. Ricaurte, “Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes,” Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2016.
- [63] D. González, “Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido de alta temperatura,” Universidad Politécnica de Madrid, 2018.
- [64] The Dow Chemical Company, “DOWSIL™ 9701 Cosmetic Powder,” 2017.
- [65] E. A. . Egbe and B. . Roland, “Design, Fabrication and Testing of a Wet Legume Dehulling Machine,” *Am. J. Mech. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 108–111, 2016, doi: 10.12691/ajme-4-3-4.
- [66] P. Sari, “PRELIMINARY DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE CANOLA SEED OIL EXTRACTION MACHINE,” Middle East Technical University, 2006.
- [67] N. Gutiérrez, I. Saá, and A. Vinueza, “Diseño y construcción de un prototipo para la extracción continua de aceite de la semilla Sacha Inchi con un proceso de prensado en frío,” vol. 8, no. 2, pp. 15–32, 2017.

- [68] M. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Naucalpan de Juárez: Prentice Hall, 1997.
- [69] V. Mujica, M. Delgado, M. Ramírez, I. Velásquez, C. Pérez, and M. Rodríguez-Corella, “Formulación de un producto cosmético con propiedades antiarrugas a partir del aceite de semilla de merey (*Anacardium Occidentale* L),” *Rev. la Fac. Ing. Univ. Cent. Venez.*, vol. 25, no. 2, 2010.
- [70] K. J. Carpenter, “Agitated vessel heat transfer,” *A-to-Z Guid. to Thermodyn. Heat Mass Transf. Fluids Eng.*, Feb. 2011, doi: 10.1615/atoz.a.agitated_vessel_heat_transfer.
- [71] G. Towler and R. Sinnott, *Chemical Engineering Design: Principles, Practice, and Economics of Plant Design*. Waltham: Elsevier, 2013.
- [72] L. Henan Growing Mechanical Equipment Co., “Desgranadora Por Las Semillas El Trabajo De Semilla De Moringa Máquina De Pelar/cacahuete Máquina Bombardeos,” *Alibaba.com*, 2018. [Online]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/sheller-for-the-seeds-the-work-moringa-seed-peeling-machine-groundnut-shelling-machine-60822482272.html?spm=a2700.8699010.normalList.14.31d146b5Zh0HmQ>. [Accessed: 01-Apr-2020].
- [73] IBG Monforts Oekotec GmbH & Co. KG, “Price List,” 2011.
- [74] Yuewo Official Store, “3L 20L Litres New Stainless Medical/Home/Lab Pure Water Distiller Filter Purifier Electric Brew Kits w/Water Control/Normal Type,” *AliExpress*, 2019. [Online]. Available: <https://www.aliexpress.com/item/32839194379.html>. [Accessed: 01-Apr-2020].
- [75] L. Huizhou Pingfang Trading Co., “Gran Oferta Máquina Semiautomática De Llenado

Y Sellado De Tubos De Plástico Para Crema Cosmética,Loción Pasta De Dientes Certificado CE,” *Alibaba.com*, 2020. [Online]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/hot-sale-semi-automatic-plastic-tube-filling-and-sealing-machine-for-cosmetic-cream-lotion-toothpaste-ce-certificate-60801478680.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.221c3c71rNbEPD&s=p>. [Accessed: 01-Apr-2020].

8. Anexos

ANEXO A: Balance de masa

A.1 Extrusora

La extrusora que se diseña es una de tornillo, cuyo esquema general se presenta en la Figura 5.

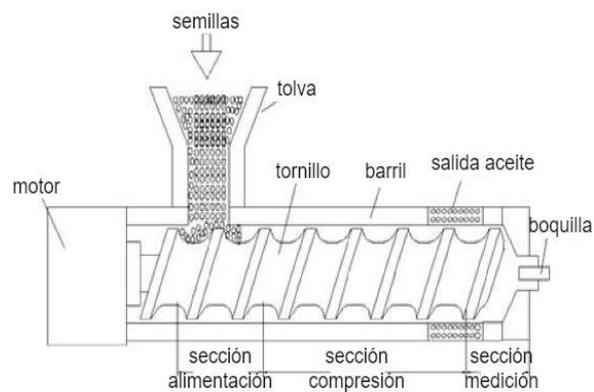


Figura 5. Esquema de una extrusora de tornillo

Moringa

Se determina el caudal de la extrusora. Se parte de la cantidad de aceite que se necesita semanalmente y la eficiencia de la extrusión. Se sabe que se necesitan 40g de aceite de moringa por kg de crema, por lo que se necesitan 192g de aceite semanal. Para la venta del aceite como producto final, se necesitan 960ml y se calcula su masa con su densidad [48]. Entonces, se calcula la masa total de aceite necesaria.

$$\text{Masa aceite venta} = 960 \frac{\text{ml aceite}}{\text{semana}} \times \frac{0.873 \text{ g}}{\text{ml}} = 838.08 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}}$$

$$\text{Masa total aceite} = 192 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} + 838.08 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} = 1030.08 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}}$$

Se decide que se realizarán los cálculos para $1035 \frac{g \text{ aceite}}{\text{semana}}$ para tener en cuenta pérdidas posibles.

Se conoce que la extrusora de tornillo tiene una eficiencia del 20%, por lo que se encuentra la masa de semillas peladas que deben alimentarse.

$$\begin{aligned} \text{Masa semillas} &= 1035 \frac{g \text{ aceite}}{\text{semana}} \times \frac{100 g \text{ semillas}}{20 g \text{ aceite}} = 5175 \frac{g \text{ semillas}}{\text{semana}} \\ &= 5.175 \frac{kg \text{ semillas}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$\text{Flujo másico torta} = 5.175 \frac{kg \text{ semillas}}{\text{semana}} - 1.035 \frac{kg \text{ aceite}}{\text{semana}} = 4.14 \frac{kg \text{ torta}}{\text{semana}}$$

El flujo de aceite se divide en lo que se necesita para la crema y para los aceites. Para la crema se necesita 192 g, por lo que para los aceites se tiene 843 g semanalmente.

Chía

Se necesitan 96 g de aceite de chía semanalmente para la crema. De igual manera, se elaboran 960 ml para la venta y se transforma a masa con su densidad [49].

$$\text{Masa aceite venta} = 960 \frac{ml \text{ aceite}}{\text{semana}} \times \frac{0.9225 g}{ml} = 885.6 \frac{g \text{ aceite}}{\text{semana}}$$

$$\text{Masa total aceite} = 96 \frac{g \text{ aceite}}{\text{semana}} + 885.6 \frac{g \text{ aceite}}{\text{semana}} = 981.6 \frac{g \text{ aceite}}{\text{semana}}$$

Se decide que se realizarán los cálculos para $985 \frac{g \text{ aceite}}{\text{semana}}$ para tener en cuenta pérdidas posibles. De igual manera se considera el 20% de eficiencia de la extrusora.

$$\begin{aligned} \text{Masa semillas} &= 985 \frac{g \text{ aceite}}{\text{semana}} \times \frac{100 g \text{ semillas}}{20 g \text{ aceite}} = 4925 \frac{g \text{ semillas}}{\text{semana}} \\ &= 4.925 \frac{kg \text{ semillas}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$\text{Flujo másico torta} = 4.925 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} - 0.985 \frac{\text{kg aceite}}{\text{semana}} = 3.94 \frac{\text{kg torta}}{\text{semana}}$$

El flujo de aceite se divide en lo que se necesita para la crema y para los aceites. Para la crema se necesita 96 g, por lo que para los aceites se tiene 889 g semanalmente.

Maracuyá

Se necesitan 96 g de aceite de chía semanalmente para la crema. De igual manera, se elaboran 960 ml para la venta y se transforma a masa con su densidad [50].

$$\text{Masa aceite venta} = 960 \frac{\text{ml aceite}}{\text{semana}} \times \frac{0.9170 \text{ g}}{\text{ml}} = 880.32 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}}$$

$$\text{Masa total aceite} = 96 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} + 880.32 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} = 976.32 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}}$$

Se decide que se realizarán los cálculos para $980 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}}$ para tener en cuenta pérdidas posibles. De igual manera se considera el 20% de eficiencia de la extrusora.

$$\begin{aligned} \text{Masa semillas} &= 980 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} \times \frac{100 \text{ g semillas}}{20 \text{ g aceite}} = 4900 \frac{\text{g semillas}}{\text{semana}} \\ &= 4.9 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$\text{Flujo másico torta} = 4.9 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} - 0.98 \frac{\text{kg aceite}}{\text{semana}} = 3.92 \frac{\text{kg torta}}{\text{semana}}$$

El flujo de aceite se divide en lo que se necesita para la crema y para los aceites. Para la crema se necesita 96 g, por lo que para los aceites se tiene 884 g semanalmente.

Sacha inchi

Se necesitan 72 g de aceite de chía semanalmente para la crema. De igual manera, se elaboran 960 ml para la venta y se transforma a masa con su densidad.[30]

$$\text{Masa aceite venta} = 960 \frac{\text{ml aceite}}{\text{semana}} \times \frac{0.9187 \text{ g}}{\text{ml}} = 881.95 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}}$$

$$\text{Masa total aceite} = 72 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} + 881.95 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} = 953.95 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}}$$

Se decide que se realizarán los cálculos para $955 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}}$ para tener en cuenta pérdidas posibles. De igual manera se considera el 20% de eficiencia de la extrusora.

$$\begin{aligned} \text{Masa semillas} &= 955 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} \times \frac{100 \text{ g semillas}}{20 \text{ g aceite}} = 4775 \frac{\text{g semillas}}{\text{semana}} \\ &= 4.775 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$\text{Flujo másico torta} = 4.775 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} - 0.955 \frac{\text{kg aceite}}{\text{semana}} = 3.82 \frac{\text{kg torta}}{\text{semana}}$$

El flujo de aceite se divide en lo que se necesita para la crema y para los aceites. Para la crema se necesita 72 g, por lo que para los aceites se tiene 883 g semanalmente.

A.2 Peladora

Moringa

Para la producción de aceite de moringa, se sabe que se necesita $5.18 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}}$, de acuerdo a lo calculado anteriormente. Se calculó experimentalmente que, en promedio, el núcleo representa el 80% de la masa de la semilla, mientras que la cáscara es el 20%. Es así que se calcula la masa de semillas con cáscara que requieren ser peladas.

$$\begin{aligned} Q_{\text{requerido}} &= 5.175 \frac{\text{kg semilla sin cáscara}}{\text{semana}} \times \frac{100 \text{ kg semilla con cáscara}}{80 \text{ kg semilla sin cáscara}} \\ &= 6.47 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{cáscara}} &= 6.47 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}} - 5.175 \frac{\text{kg semilla sin cáscara}}{\text{semana}} \\
 &= 1.295 \frac{\text{kg cáscara}}{\text{semana}}
 \end{aligned}$$

Se considera que la peladora tiene una eficiencia del 86% [51], por lo que se calcula la masa de semillas con cáscara que se debe alimentar a la máquina.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{alimentación}} &= \frac{Q_{\text{requerido}}}{\eta} \\
 Q_{\text{alimentación}} &= \frac{6.47 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}}}{0.86} = 7.5 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}}
 \end{aligned}$$

Sacha inchi

Para la producción de aceite de moringa, se sabe que se necesita $4.775 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}}$, de acuerdo a lo calculado anteriormente. Se calculó experimentalmente que, en promedio, el núcleo representa el 80% de la masa de la semilla, mientras que la cáscara es el 20%. Es así que se calcula la masa de semillas con cáscara que requieren ser peladas.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{requerido}} &= 4.775 \frac{\text{kg semilla sin cáscara}}{\text{semana}} \times \frac{100 \text{ kg semilla con cáscara}}{80 \text{ kg semilla sin cáscara}} \\
 &= 5.97 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{cáscara}} &= 5.97 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}} - 4.775 \frac{\text{kg semilla sin cáscara}}{\text{semana}} \\
 &= 1.195 \frac{\text{kg cáscara}}{\text{semana}}
 \end{aligned}$$

Se considera que la peladora tiene una eficiencia del 86% [51], por lo que se calcula la masa de semillas con cáscara que se debe alimentar a la máquina.

$$Q_{\text{alimentación}} = \frac{Q_{\text{requerido}}}{\eta}$$

$$Q_{\text{alimentación}} = \frac{5.97 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}}}{0.86} = 7 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}}$$

A.3 Secador

Moringa

La humedad inicial de la moringa es alrededor del 67% [52] y se busca llegar a una humedad de máximo 8%, ambos valores son en base húmeda. Dado que en la peladora se necesitan $7.5 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}}$, se puede calcular la composición de estas.

$$7.5 \frac{\text{kg semilla a la salida}}{\text{semana}} \times \frac{8 \text{ kg agua a la salida}}{100 \text{ kg semilla a la salida}} = 0.60 \frac{\text{kg agua a la salida}}{\text{semana}}$$

$$7.5 \frac{\text{kg semilla a la salida}}{\text{semana}} \times \frac{92 \text{ kg semilla seca}}{100 \text{ kg semilla a la salida}} = 6.90 \frac{\text{kg semilla seca}}{\text{semana}}$$

Lo que varía es el contenido de agua, pero la masa de semillas secas se mantiene constante durante el secado, por lo que se puede calcular la masa de semillas que se debe ingresar al secador.

$$6.90 \frac{\text{kg semilla seca}}{\text{semana}} \times \frac{100 \text{ kg semilla a la entrada}}{33 \text{ kg semilla seca}} = 20.91 \frac{\text{kg semilla a la entrada}}{\text{semana}}$$

$$20.91 \frac{\text{kg semilla a la entrada}}{\text{semana}} \times \frac{67 \text{ kg agua a la entrada}}{100 \text{ kg semilla a la entrada}}$$

$$= 14.01 \frac{\text{kg agua a la entrada}}{\text{semana}}$$

$$\text{Agua que se pierde} = 14.01 \frac{\text{kg agua a la entrada}}{\text{semana}} - 0.60 \frac{\text{kg agua a la salida}}{\text{semana}}$$

$$= 13.41 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}}$$

Chía

La humedad inicial de la chía es alrededor del 15% [53] y se busca llegar a una humedad de máximo 8%, ambos valores son en base húmeda. Dado que en la extrusora se necesitan

$4.925 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}}$, se puede calcular la composición de estas.

$$4.925 \frac{\text{kg semilla a la salida}}{\text{semana}} \times \frac{8 \text{ kg agua a la salida}}{100 \text{ kg semilla a la salida}} = 0.39 \frac{\text{kg agua a la salida}}{\text{semana}}$$

$$4.925 \frac{\text{kg semilla a la salida}}{\text{semana}} \times \frac{92 \text{ kg semilla seca}}{100 \text{ kg semilla a la salida}} = 4.53 \frac{\text{kg semilla seca}}{\text{semana}}$$

Lo que varía es el contenido de agua, pero la masa de semillas secas se mantiene constante durante el secado, por lo que se puede calcular la masa de semillas que se debe ingresar al secador.

$$4.53 \frac{\text{kg semilla seca}}{\text{semana}} \times \frac{100 \text{ kg semilla a la entrada}}{85 \text{ kg semilla seca}} = 5.33 \frac{\text{kg semilla a la entrada}}{\text{semana}}$$

$$5.33 \frac{\text{kg semilla a la entrada}}{\text{semana}} \times \frac{15 \text{ kg agua a la entrada}}{100 \text{ kg semilla a la entrada}}$$

$$= 0.80 \frac{\text{kg agua a la entrada}}{\text{semana}}$$

$$\text{Agua que se pierde} = 0.80 \frac{\text{kg agua a la entrada}}{\text{semana}} - 0.39 \frac{\text{kg agua a la salida}}{\text{semana}}$$

$$= 0.41 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}}$$

Maracuyá

La humedad inicial del maracuyá es alrededor del 28% [54] y se busca llegar a una humedad de máximo 8%, ambos valores son en base húmeda. Dado que en la extrusora se

necesitan $4.9 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}}$, se puede calcular la composición de estas.

$$4.9 \frac{\text{kg semilla a la salida}}{\text{semana}} \times \frac{8 \text{ kg agua a la salida}}{100 \text{ kg semilla a la salida}} = 0.39 \frac{\text{kg agua a la salida}}{\text{semana}}$$

$$4.9 \frac{\text{kg semilla a la salida}}{\text{semana}} \times \frac{92 \text{ kg semilla seca}}{100 \text{ kg semilla a la salida}} = 4.51 \frac{\text{kg semilla seca}}{\text{semana}}$$

Lo que varía es el contenido de agua, pero la masa de semillas secas se mantiene constante durante el secado, por lo que se puede calcular la masa de semillas que se debe ingresar al secador.

$$4.51 \frac{\text{kg semilla seca}}{\text{semana}} \times \frac{100 \text{ kg semilla a la entrada}}{72 \text{ kg semilla seca}} = 6.26 \frac{\text{kg semilla a la entrada}}{\text{semana}}$$

$$\begin{aligned} 6.26 \frac{\text{kg semilla a la entrada}}{\text{semana}} \times \frac{28 \text{ kg agua a la entrada}}{100 \text{ kg semilla a la entrada}} \\ = 1.75 \frac{\text{kg agua a la entrada}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua que se pierde} &= 1.75 \frac{\text{kg agua a la entrada}}{\text{semana}} - 0.39 \frac{\text{kg agua a la salida}}{\text{semana}} \\ &= 1.36 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

Sacha inchi

La humedad inicial de sachá inchi es alrededor del 12% [55] y se busca llegar a una humedad de máximo 8%, ambos valores son en base húmeda. Dado que en la peladora se necesitan $7 \frac{\text{kg semilla con cáscara}}{\text{semana}}$, se puede calcular la composición de estas.

$$7 \frac{\text{kg semilla a la salida}}{\text{semana}} \times \frac{8 \text{ kg agua a la salida}}{100 \text{ kg semilla a la salida}} = 0.56 \frac{\text{kg agua a la salida}}{\text{semana}}$$

$$7 \frac{\text{kg semilla a la salida}}{\text{semana}} \times \frac{92 \text{ kg semilla seca}}{100 \text{ kg semilla a la salida}} = 6.44 \frac{\text{kg semilla seca}}{\text{semana}}$$

Lo que varía es el contenido de agua, pero la masa de semillas secas se mantiene constante durante el secado, por lo que se puede calcular la masa de semillas que se debe ingresar al secador.

$$6.44 \frac{\text{kg semilla seca}}{\text{semana}} \times \frac{100 \text{ kg semilla a la entrada}}{88 \text{ kg semilla seca}} = 7.32 \frac{\text{kg semilla a la entrada}}{\text{semana}}$$

$$\begin{aligned} 7.32 \frac{\text{kg semilla a la entrada}}{\text{semana}} \times \frac{12 \text{ kg agua a la entrada}}{100 \text{ kg semilla a la entrada}} \\ = 0.88 \frac{\text{kg agua a la entrada}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua que se pierde} &= 0.88 \frac{\text{kg agua a la entrada}}{\text{semana}} - 0.56 \frac{\text{kg agua a la salida}}{\text{semana}} \\ &= 0.32 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

A.4 Tanque de lavado

Dado que en los tanques de lavado y almacenamiento no cambia la masa de las semillas, el caudal se mantiene constante con el valor de la entrada de semillas al secador.

Moringa

En el caso de la moringa, se recibe $20.91 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}}$. Para el lavado solamente se debe determinar la cantidad de agua que se utiliza. Se considera que el volumen de agua que se va a emplear es mismo que el volumen de semillas.

$$\begin{aligned} \text{Flujo volumétrico semillas} &= 20.91 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{l}{0.188 \text{ kg}} \times \frac{m^3}{1000 l} \\ &= 0.111 \frac{m^3 \text{ semilla}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

El volumen de semillas es igual al de agua, con lo que se puede calcular el caudal másico de agua para cada lavado, ya que se deben considerar que se realizan 4 lavados.

$$\text{Flujo másico agua} = 0.111 \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{semana}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 111 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}}$$

Chía

En el caso de la chía, se recibe $5.33 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}}$. Para el lavado solamente se debe determinar la cantidad de agua que se utiliza. Se considera que el volumen de agua que se va a emplear es mismo que el volumen de semillas.

$$\begin{aligned} \text{Flujo volumétrico semillas} &= 5.33 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{\text{l}}{0.733 \text{ kg}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} \\ &= 0.00727 \frac{\text{m}^3 \text{ semilla}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

El volumen de semillas es igual al de agua, con lo que se puede calcular el caudal másico de agua para cada lavado, ya que se deben considerar que se realizan 4 lavados.

$$\text{Flujo másico agua} = 0.00727 \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{semana}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 7.27 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}}$$

Maracuyá

En el caso del maracuyá, se recibe $6.26 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}}$. Para el lavado solamente se debe determinar la cantidad de agua que se utiliza. Se considera que el volumen de agua que se va a emplear es mismo que el volumen de semillas.

$$\begin{aligned} \text{Flujo volumétrico semillas} &= 6.26 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{\text{l}}{0.772 \text{ kg}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} \\ &= 0.00811 \frac{\text{m}^3 \text{ semilla}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

El volumen de semillas es igual al de agua, con lo que se puede calcular el caudal másico de agua para cada lavado, ya que se deben considerar que se realizan 4 lavados.

$$\text{Flujo másico agua} = 0.00811 \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{semana}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 8.11 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}}$$

Sacha inchi

En el caso de sacha inchi, se recibe $7.32 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}}$. Para el lavado solamente se debe determinar la cantidad de agua que se utiliza. Se considera que el volumen de agua que se va a emplear es mismo que el volumen de semillas.

$$\begin{aligned} \text{Flujo volumétrico semillas} &= 7.32 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{\text{l}}{0.188 \text{ kg}} \times \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} \\ &= 0.0389 \frac{\text{m}^3 \text{ semilla}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

El volumen de semillas es igual al de agua, con lo que se puede calcular el caudal másico de agua para cada lavado, ya que se deben considerar que se realizan 4 lavados.

$$\text{Flujo másico agua} = 0.0389 \frac{\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{semana}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 38.9 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}}$$

A.5 Tanque almacenamientos semillas, crema base y polímeros.

Moringa

Dado que las semillas de moringa se reciben cada 6 meses, el primer tanque de almacenamiento debe poder contener este volumen.

$$\text{Flujo semillas moringa} = 20.91 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{26 \text{ semanas}}{\text{semestre}} \times = 543.66 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semestre}}$$

Chía

Las semillas de chía se reciben mensualmente, por lo que se calcula su flujo cuando se reciben.

$$\text{Flujo semillas chía} = 5.33 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = 21.32 \frac{\text{kg semilla}}{\text{mes}}$$

Maracuyá

Las semillas de maracuyá se reciben mensualmente también.

$$\text{Flujo semillas maracuyá} = 6.26 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = 25.04 \frac{\text{kg semilla}}{\text{mes}}$$

Sacha inchi

Las semillas de sacha inchi se adquieren mensualmente.

$$\text{Flujo semillas sacha inchi} = 7.32 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = 29.28 \frac{\text{kg semilla}}{\text{mes}}$$

Crema base

Se requieren $1.872 \frac{\text{kg crema base}}{\text{semana}}$ y se adquiere semanalmente.

Polímeros

Se necesitan $0.24 \frac{\text{kg polímeros}}{\text{semana}}$ pero estos, al ser importados, se adquieren anualmente.

Se calcula su flujo al ingresar a la planta.

$$0.24 \frac{\text{kg polímeros}}{\text{semana}} \times \frac{52 \text{ semanas}}{1 \text{ año}} = 12.48 \frac{\text{kg polímeros}}{\text{año}}$$

A.6 Destilador

Se sabe que el agua destilada es el 0.455 de la crema, por lo que se calcula su requerimiento semanal en flujo másico y volumétrico.

$$\text{Flujo másico} = 4800 \frac{\text{g crema}}{\text{semana}} \times 0.455 \frac{\text{g agua}}{\text{g crema}} = 2184 \frac{\text{g agua destilada}}{\text{semana}}$$

$$\text{Flujo volumétrico} = 2184 \frac{\text{g agua}}{\text{semana}} \times \frac{\text{ml}}{1 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} = 2.184 \frac{\text{l agua destilada}}{\text{semana}}$$

Un destilador que produce 3.5 L/h de agua destilada, consume 30 L/h de agua potable.

De esta manera se puede determinar el flujo de agua potable que se necesita.

$$\begin{aligned} \text{Flujo volumétrico} &= 2.184 \frac{\text{l agua destilada}}{\text{semana}} \times \frac{30 \frac{\text{l agua potable}}{\text{h}}}{3.5 \frac{\text{l agua potable}}{\text{h}}} \\ &= 18.73 \frac{\text{l agua potable}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

$$\text{Flujo másico} = 18.73 \frac{\text{l agua potable}}{\text{semana}} \times \frac{1 \text{ kg}}{\text{l}} = 18.73 \frac{\text{kg agua potable}}{\text{semana}}$$

El agua que no se destila, sale del destilador.

$$\begin{aligned} \text{Agua no destilada} &= 18.73 \frac{\text{kg agua potable}}{\text{semana}} - 2.184 \frac{\text{kg agua destilada}}{\text{semana}} \\ &= 16.546 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

A.7 Mezcladoras

Al realizar la primera mezcla, se añade la mitad del agua y la crema base, cuyos caudales se calcularon anteriormente.

$$\begin{aligned} \text{Flujo másico primera mezcla} &= 1.092 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}} + 1.872 \frac{\text{kg crema base}}{\text{semana}} \\ &= 2.964 \frac{\text{kg primera mezcla}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

En la segunda mezcla, se añade la otra mitad del agua y los polímeros.

$$\begin{aligned} \text{Flujo másico polímeros} &= 1.092 \frac{\text{kg agua}}{\text{semana}} + 0.24 \frac{\text{kg polímeros}}{\text{semana}} \\ &= 1.332 \frac{\text{kg segunda mezcla}}{\text{semana}} \end{aligned}$$

En la tercera mezcla, se juntan las dos anteriores.

Flujo másico tercera mezcla

$$\begin{aligned}
 &= 2.964 \frac{\text{kg primera mezcla}}{\text{semana}} + 1.332 \frac{\text{kg segunda mezcla}}{\text{semana}} \\
 &= 4.296 \frac{\text{kg tercera mezcla}}{\text{semana}}
 \end{aligned}$$

En la cuarta mezcla, se añaden los aceites extraídos de las semillas.

Flujo másico cuarta mezcla

$$\begin{aligned}
 &= 4.296 \frac{\text{kg tercera mezcla}}{\text{semana}} + 0.192 \frac{\text{kg aceite moringa}}{\text{semana}} \\
 &+ 0.096 \frac{\text{kg aceite chía}}{\text{semana}} + 0.096 \frac{\text{kg aceite maracuyá}}{\text{semana}} \\
 &+ 0.072 \frac{\text{kg aceite sacha inchi}}{\text{semana}} + 0.048 \frac{\text{kg aceite aguacate}}{\text{semana}} \\
 &= 4.8 \frac{\text{kg crema}}{\text{semana}}
 \end{aligned}$$

A.8 Envasadora

El caudal másico se conserva en $4.8 \frac{\text{kg crema}}{\text{semana}}$, ya que en esta operación solamente se distribuye la crema en sus envases respectivos.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo general y las tablas de los flujos en relación a cada semilla.

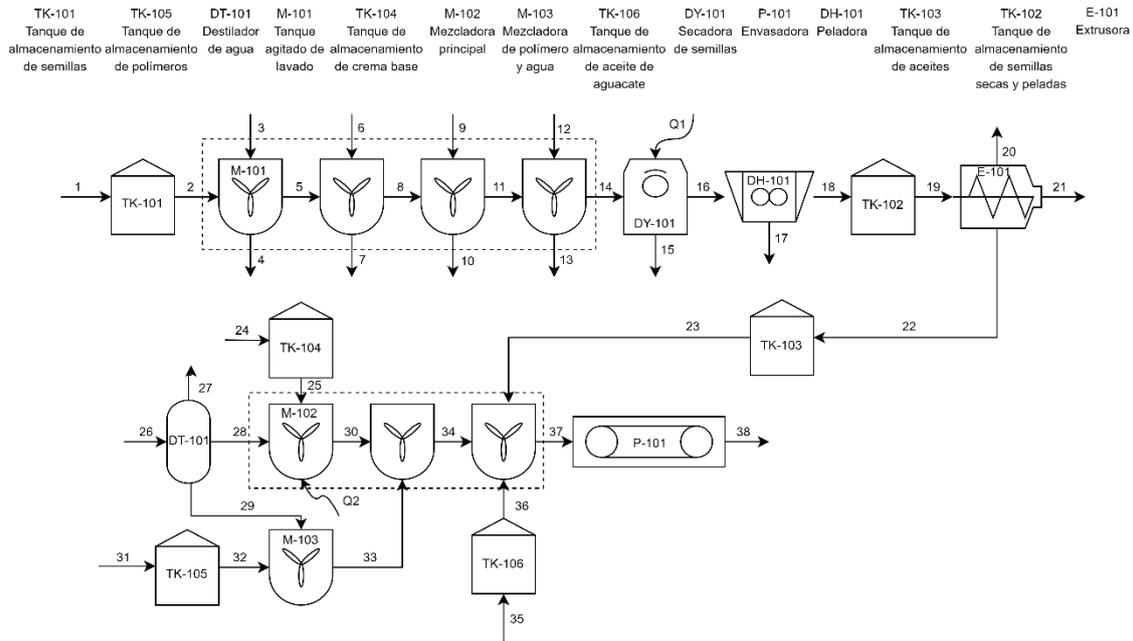


Figura 6. Diagrama de flujo general para la semilla de moringa

Tabla 23. Resumen de corrientes másicas en relación a la moringa

Corriente	Flujo [kg/semana]	Corriente	Flujo [kg/semana]
1,2,5,8,11,14	20.91	25	18.73
3,4,6,7,9,10,12,13	111	26	16.546
15	13.41	27,28	1.092
16	7.5	29	2.964
17	1.295	30,31	0.24
18,19	5.175	32	1.332
20	4.14	33	4.296
21	0.843	34,35	0.048
22	0.192	36,37	4.8
23,24	1.872		

Tabla 24. Corrientes másicas que varían en relación a la chía

Corriente	Flujo [kg/semana]
1,2,5,8,11,14	5.22
3,4,6,7,9,10,12,13	7.27
15	0.41
16	4.925
17	-
18,19	4.925
20	3.94

21	0.889
22	0.096

Tabla 25. Corrientes másicas que varían en relación al maracuyá

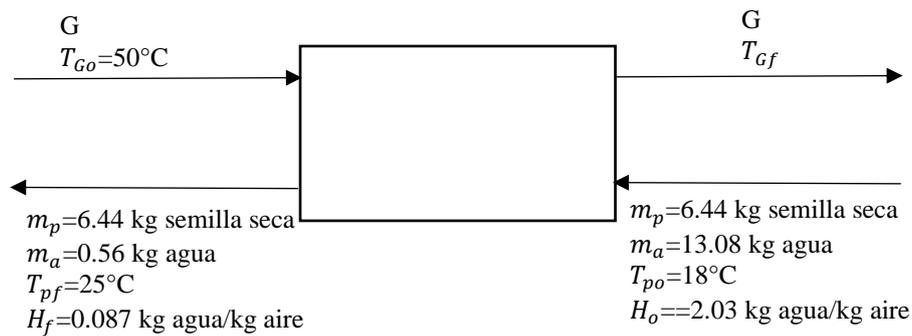
Corriente	Flujo [kg/semana]
1,2,5,8,11,14	6.26
3,4,6,7,9,10,12,13	8.11
15	1.36
16	4.9
17	-
18,19	4.9
20	3.92
21	0.884
22	0.096

Tabla 26. Corrientes másicas que varían en relación a sachá inchi

Corriente	Flujo [kg/semana]
1,2,5,8,11,14	7.32
3,4,6,7,9,10,12,13	38.9
15	0.32
16	7
17	1.195
18,19	4.775
20	3.82
21	0.883
22	0.072

ANEXO B: Balance de energía

Secador



Algunos datos necesarios se definen a continuación.

Calor latente de vaporización del agua ($\lambda_G = 2270 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$)

Calor específico del agua ($C_{pa} = 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$)

Calor específico del vapor de agua ($C_{pa,v} = 2.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$)

Calor específico del aire ($C_{pG} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$)

Humedad relativa de Quito ($H = 76\%$)

Temperatura promedio de Quito ($T_a = 18^{\circ}\text{C}$)

Para calcular el calor total que se pierde en el secador, se emplea realiza la sumatoria de todas las formas en las que se pierde calor.

$$q_t = q_e + q_s + q_l + q_v + q_h + q_r$$

El calor de evaporación (q_e) es el calor que se usa para la evaporación del agua de las semillas. λ_G es el calor latente de vaporización del agua (kJ/kg).

$$q_e = m_p(H_o - H_f)\lambda_G$$

$$q_e = (6.44 \text{ kg})(2.03 - 0.087)(2270 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$q_e = 28404.33 \text{ kJ}$$

Además, el producto seco también recibe calor (q_s). Se usa el calor específico de la semilla de moringa, que está entre 1.52 y 2.52 $\frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$ [56].

$$q_s = m_p C_{pp} (T_{pf} - T_{po})$$

$$q_s = (6.44 \text{ kg}) \left(2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \right) (25 - 18) ^\circ\text{C}$$

$$q_s = 90.16 \text{ kJ}$$

El agua debe precalentarse (q_l) hasta alcanzar la temperatura para evaporarse. El secado se realiza a la temperatura de bulbo húmedo del aire (T'_{Go}), que se determina a partir de la tabla psicométrica mostrada en la Figura 7.

El aire ingresa a temperatura ambiente y humedad relativa: 18 °C y 76% HR

$$x_o = 0.009 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}$$

El contenido de humedad se mantiene constante y se conoce que la temperatura a la que debe llegar el aire es 50 °C.

$$T'_{Go} = 25^\circ\text{C}$$

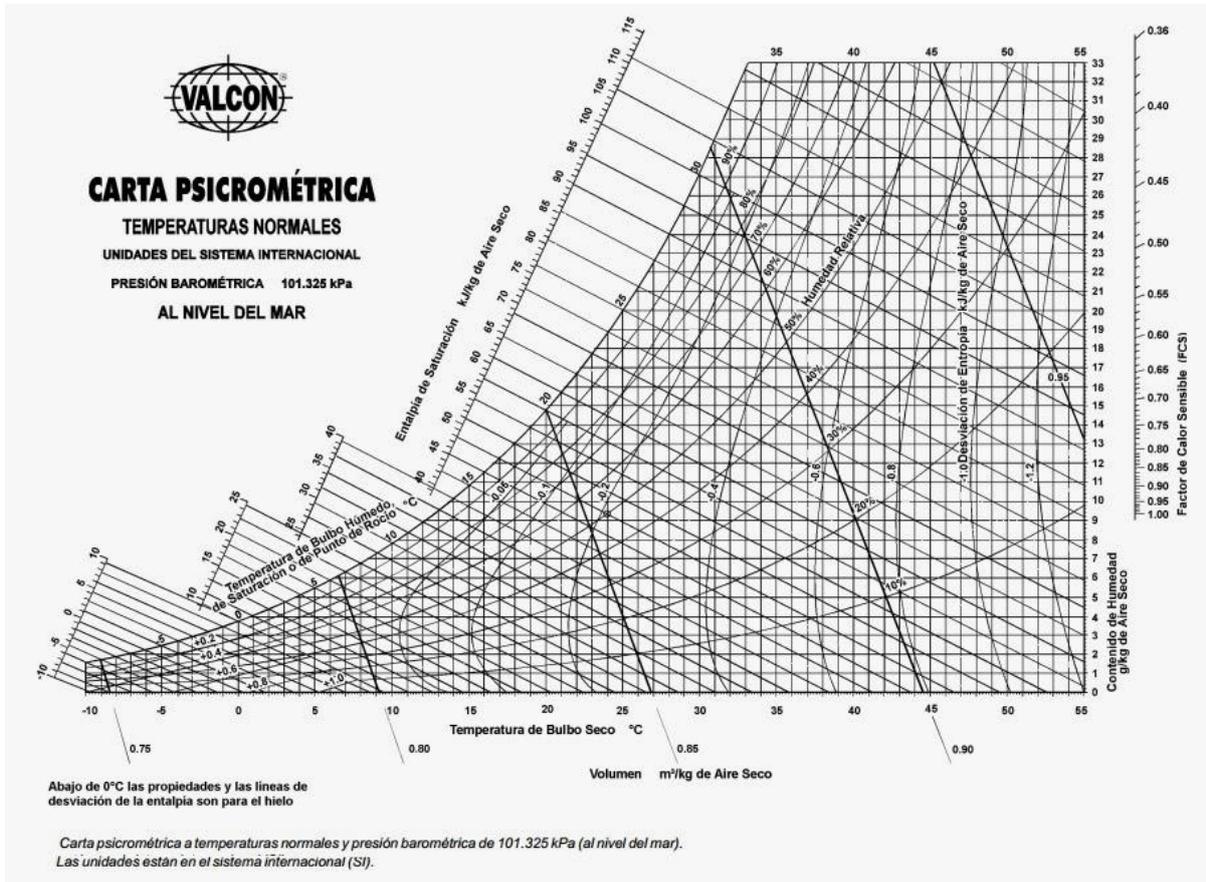


Figura 7. Tabla psicrométrica

$$q_l = m_p H_o C_{pa} (T'_{Go} - T_{po})$$

$$q_l = (6.44 \text{ kg})(2.03)(4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}})(25 - 18) ^\circ\text{C}$$

$$q_l = 382.52 \text{ kJ}$$

El sobrecalentamiento es el calor transmitido al vapor de agua (q_v).

$$q_v = m_p (H_o - H_f) C_{pa,v} (T_{Gf} - T'_{Go})$$

$$q_v = (6.44 \text{ kg})(2.03 - 0.087)(2.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}})(40 - 25)$$

$$q_v = 469.23 \text{ kJ}$$

El calor de la humedad residual es el calor que adquiere el agua dentro del producto pero no se evapora (q_h).

$$q_h = m_p H_f C_{pa} (T_{pf} - T_{po})$$

$$q_h = (6.44 \text{ kg})(0.087)(4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}})(25 - 18) ^\circ\text{C}$$

$$q_h = 16.39 \text{ kJ}$$

El calor por radiación incluye el calor por radiación y convección del secador hacia los alrededores, y conducción a través de las paredes del secador [57].

$$q_r = 0.08q_e$$

$$q_r = 0.08(28404.33 \text{ kJ})$$

$$q_r = 2272.35 \text{ kJ}$$

$$q_t = 28404.33 \text{ kJ} + 90.16 \text{ kJ} + 382.52 \text{ kJ} + 469.23 \text{ kJ} + 16.39 \text{ kJ} + 2272.35 \text{ kJ}$$

$$q_t = \mathbf{31634.90 \text{ kJ}}$$

Para calcular el calor necesario en kW, se debe tomar en cuenta el tiempo que toma esta operación, que se definió como 90.45 min, o 5427 s, para las semillas de moringa [58].

$$q_t = \frac{31634.90 \text{ kJ}}{5427 \text{ s}}$$

$$q_t = \mathbf{5.83 \text{ kW}}$$

Mezcladora

En la mezcladora se debe calentar la mezcla de agua y crema base de temperatura ambiente hasta 80 °C. Para el cálculo del calor específico de esta mezcla, se toma en cuenta los

componentes mayoritarios: agua y aceite de palma. El calor específico del aceite de palma se obtuvo de bibliografía [59].

$$C_p = x_{agua}C_{p\ agua} + x_{aceite\ palma}C_{p\ aceite\ palma}$$

$$C_p = (0.455) \left(4.18 \frac{kJ}{kg\ ^\circ C} \right) + (0.39) \left(1.955 \frac{kJ}{kg\ ^\circ C} \right)$$

$$C_p = 2.66 \frac{kJ}{kg\ ^\circ C}$$

Con estos datos se puede calcular el calor que se necesita para calentar la mezcla.

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = (2.964\ kg) \left(2.66 \frac{kJ}{kg\ ^\circ C} \right) (80 - 18)$$

$$\mathbf{Q = 488.82\ kJ}$$

Se plantea que el calentamiento debe ocurrir en 10 min, o 600 s, para realizar la mezcla a esta temperatura constante. Así se calcula el calor en kW que necesita el equipo.

$$Q = \frac{488.82\ kJ}{600\ s}$$

$$\mathbf{Q = 0.815\ kW}$$

ANEXO C: Dimensionamiento de tanques de almacenamiento [60]

C.1 Semillas de moringa

$$19.51 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times 52 \text{ semanas} = 1014.51 \frac{\text{kg semilla}}{\text{año}}$$

Se reciben las semillas de moringa dos veces al año debido a su ciclo de formación.

Para calcular el volumen que ocupan estas semillas, se usa la densidad aparente, medida experimentalmente.

$$507.26 \frac{\text{kg semilla}}{6 \text{ meses}} \times \frac{L}{0.188 \text{ kg semilla}} = 2698.19 L \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 L} = 2.7 \text{ m}^3$$

Del volumen calculado, se aumenta el 20% de factor de sobredimensionamiento [61].

$$2.7 \text{ m}^3 \times 1.2 = 3.24 \text{ m}^3$$

Se define la relación altura-diámetro y el volumen del tanque considerando una forma cilíndrica.

$$H = 1.5D$$

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

Entonces, se obtiene la fórmula para el volumen que se usa para todos los tanques de almacenamiento para el volumen.

$$V = \pi \frac{D^2}{4} (1.5D)$$

$$V = 0.375\pi D^3$$

Reemplazando el volumen obtenido anteriormente, se calculan el diámetro y la altura.

$$V = 0.375\pi D^3 = 3.24 \text{ m}^3$$

$$D = 1.4 \text{ m}$$

$$H = 2.1 \text{ m}$$

Como se mencionó, se decide utilizar tanques de techo en forma cónica y fondo plano.

En la Figura 8, se presenta un diagrama de la forma propuesta.

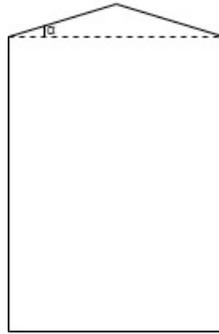


Figura 8. Diagrama del tanque con techo cónico y fondo plano

Entonces, se usa la para determinar la altura del techo (ht).

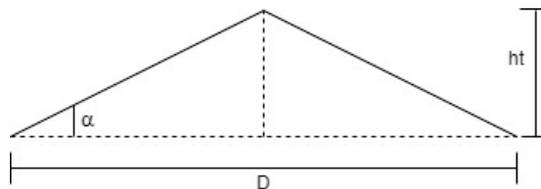


Figura 9. Diagrama de las dimensiones del techo cónico

$$\cos \alpha = \frac{D/2}{ht}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

Se escoge que el ángulo $\alpha=9.5^\circ$ debido a que no va a estar expuesto a nieve.

Reemplazando los valores, se puede calcular la altura total del tanque (H_t) [62].

$$ht = \frac{1.4/2}{\cos 9.5} = 0.71 \text{ m}$$

$$H_t = 2.1 \text{ m} + 0.71 \text{ m} = 2.81 \text{ m}$$

Dado a que la altura supera la estatura promedio de un operario, se tendrán dos tanques para almacenar las semillas de moringa.

$$H_{t\ c/u} = 1.4 \text{ m}$$

Se calcula nuevamente el volumen del tanque con la altura total para tomar en cuenta el fondo y el techo.

$$V_{t\ c/u} = \pi \frac{D^2}{4} H_{t\ c/u}$$

$$V_{t\ c/u} = \pi \frac{(1.4)^2}{4} (1.4)$$

$$V_{t\ c/u} = 2.16 \text{ m}^3$$

Finalmente, se calcula el espesor de las paredes del tanque. Ya que el diámetro es menor a 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm [63].

C.2 Semillas de moringa peladas

Para calcular el volumen que ocupan estas semillas, se usa la densidad aparente, medida experimentalmente. Y se sabe que se debe almacenar las semillas peladas de 6 meses.

$$5.175 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{26 \text{ semana}}{1 \text{ semestre}} \times \frac{L}{0.4 \text{ kg semilla}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 L} = 0.336 \text{ m}^3$$

$$0.336 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.403 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.403 \text{ m}^3$$

$$D = 0.699 \text{ m}$$

$$H = 1.05 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.699/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.354 \text{ m}$$

$$H_t = 1.05 \text{ m} + 0.354 \text{ m}$$

$$H_t = 1.404 \text{ m}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.699)^2}{4} (1.404)$$

$$V_t = 0.539 \text{ m}^3$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.3 Aceite de moringa

$$V = 1035 \text{ g aceite} \times \frac{\text{ml}}{0.873 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1E6 \text{ ml}} = 0.0012 \text{ m}^3$$

$$0.0012 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.0014 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.0014 \text{ m}^3$$

$$D = 0.106 \text{ m}$$

$$H = 0.159 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.106/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.054 \text{ m}$$

Dado que es líquido, el fondo tiene una forma elipsoidal, como se muestra en la Figura 10, y se debe calcular su altura.

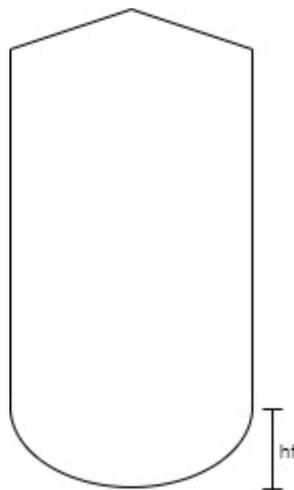


Figura 10. Diagrama del tanque con techo cónico y fondo elipsoidal

$$hf = \frac{D}{4}$$

$$hf = \frac{0.106}{4}$$

$$hf = 0.027 \text{ m}$$

$$H_t = 0.159 \text{ m} + 0.054 \text{ m} + 0.027 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.24 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.106)^2}{4} (0.24)$$

$$V_t = \mathbf{0.0021 \text{ m}^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.4 Semillas de chía

Las semillas de chía se reciben mensualmente.

$$5.22 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = 20.88 \text{ kg semillas}$$

Para calcular el volumen se usa la densidad aparente.

$$V = 20.88 \text{ kg semillas} \times \frac{\text{l}}{0.772 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.027 \text{ m}^3$$

$$0.027 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.032 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.032 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.301 \text{ m}}$$

$$H = 0.452 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.301/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.153 \text{ m}$$

$$H_t = 0.452 \text{ m} + 0.153 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.605 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.301)^2}{4} (0.605)$$

$$\mathbf{V_t = 0.043 m^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.5 Semillas de chía secas

Se debe almacenar las semillas secas de 1 mes.

$$V = 4.925 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \times \frac{l}{0.772 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.026 \text{ m}^3$$

$$0.026 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.031 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.031 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.297 m}$$

$$H = 0.446 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.297/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.151 \text{ m}$$

$$H_t = 0.446 \text{ m} + 0.151 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.597 m}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.297)^2}{4} (0.597)$$

$$\mathbf{V_t = 0.041 m^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.6 Aceite de chía

$$V = 980 \text{ g aceite} \times \frac{\text{ml}}{0.9225 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1E6 \text{ ml}} = 0.0010 \text{ m}^3$$

$$0.0010 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.0012 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.0012 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.100 m}$$

$$H = 0.15 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.100/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.051 \text{ m}$$

$$hf = \frac{D}{4}$$

$$hf = \frac{0.100}{4}$$

$$hf = 0.025 \text{ m}$$

$$H_t = 0.15 \text{ m} + 0.051 \text{ m} + 0.025 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.226 m}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.100)^2}{4} (0.226)$$

$$V_t = \mathbf{0.0018 \text{ m}^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.7 Semillas de maracuyá

Las semillas de maracuyá se reciben mensualmente.

$$6.26 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = 25.04 \text{ kg semillas}$$

Para calcular el volumen se usa la densidad aparente.

$$V = 25.04 \text{ kg semillas} \times \frac{l}{0.7333 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 l} = 0.034 \text{ m}^3$$

$$0.034 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.041 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.041 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.326 \text{ m}}$$

$$H = 0.489 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.326/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.165 \text{ m}$$

$$H_t = 0.489 \text{ m} + 0.165 \text{ m}$$

$$H_t = 0.654 \text{ m}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.326)^2}{4} (0.654)$$

$$V_t = 0.055 \text{ m}^3$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.8 Semillas de maracuyá secas

Se debe almacenar las semillas secas de 1 mes.

$$4.9 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = 19.6 \text{ kg semillas}$$

Para calcular el volumen se usa la densidad aparente.

$$V = 19.6 \text{ kg semillas} \times \frac{1}{0.7333 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.027 \text{ m}^3$$

$$0.027 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.032 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.032 \text{ m}^3$$

$$D = 0.301 \text{ m}$$

$$H = 0.452 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.301/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.153 \text{ m}$$

$$H_t = 0.452 \text{ m} + 0.153 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.605 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.301)^2}{4} (0.605)$$

$$\mathbf{V_t = 0.043 \text{ m}^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm

C.9 Aceite de maracuyá

$$V = 980 \text{ g aceite} \times \frac{\text{ml}}{0.9170 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1E6 \text{ ml}} = 0.0011 \text{ m}^3$$

$$0.0011 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.0013 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.0013 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.103 \text{ m}}$$

$$H = 0.155 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.103/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.052 \text{ m}$$

$$hf = \frac{D}{4}$$

$$hf = \frac{0.103}{4}$$

$$hf = 0.026 \text{ m}$$

$$H_t = 0.155 \text{ m} + 0.052 \text{ m} + 0.026 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.233 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.103)^2}{4} (0.233)$$

$$\mathbf{V_t = 0.0019 \text{ m}^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm

C.10 Semillas de sachá inchi

Las semillas de sachá inchi se reciben mensualmente.

$$7.32 \frac{\text{kg semillas}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} = 29.28 \text{ kg semillas}$$

Para calcular el volumen se usa la densidad aparente. Dado que no se tiene esta información experimental, se usan los datos de la semilla de moringa.

$$V = 29.28 \text{ kg semillas} \times \frac{l}{0.188 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.156 \text{ m}^3$$

$$0.156 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.187 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.187 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.541 \text{ m}}$$

$$H = 0.812 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.541/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.274 \text{ m}$$

$$H_t = 0.812 \text{ m} + 0.274 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 1.09 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.541)^2}{4} (1.09)$$

$$\mathbf{V_t = 0.250 \text{ m}^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.11 Semillas de sachá inchi peladas

Para calcular el volumen que ocupan estas semillas, se usa la densidad aparente de las semillas de moringa peladas a falta de información experimental, medida experimentalmente.

Y se sabe que se debe almacenar las semillas peladas de 1 meses.

$$4.775 \frac{\text{kg semilla}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \times \frac{L}{0.4 \text{ kg semilla}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0.048 \text{ m}^3$$

$$0.048 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.058 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.058 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.367 \text{ m}}$$

$$H = 0.551 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.367/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.186 \text{ m}$$

$$H_t = 0.551 \text{ m} + 0.186 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.737 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.367)^2}{4} (0.737)$$

$$\mathbf{V_t = 0.078 \text{ m}^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.12 Aceite de sachá inchi

$$V = 955 \text{ g aceite} \times \frac{\text{ml}}{0.9187 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1E6 \text{ ml}} = 0.0010 \text{ m}^3$$

$$0.0010 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.0012 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.0012 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.100 \text{ m}}$$

$$H = 0.15 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.100/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.051 \text{ m}$$

$$hf = \frac{D}{4}$$

$$hf = \frac{0.100}{4}$$

$$hf = 0.025 \text{ m}$$

$$H_t = 0.15 \text{ m} + 0.051 \text{ m} + 0.025 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.226 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.100)^2}{4} (0.226)$$

$$\mathbf{V_t = 0.0018 \text{ m}^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.13 Aceite de aguacate

Se necesitan 48 g de aceite de aguacate a la semana y se recibe mensualmente.

$$V = 48 \frac{\text{g aceite}}{\text{semana}} \times \frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \times \frac{\text{ml}}{0.91 \text{ g}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1E6 \text{ ml}} = 0.00021 \text{ m}^3$$

$$0.00021 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.00025 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.00025 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.060 \text{ m}}$$

$$H = 0.090 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.060/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.030 \text{ m}$$

$$hf = \frac{D}{4}$$

$$hf = \frac{0.060}{4}$$

$$hf = 0.015 \text{ m}$$

$$H_t = 0.09 \text{ m} + 0.030 \text{ m} + 0.015 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.165 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.060)^2}{4} (0.165)$$

$$\mathbf{V_t = 0.00047 \text{ m}^3}$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.14 Crema base

La crema base se recibe semanalmente, pero se tiene stock de una semana adicional. Se necesitan 1.872 kg de crema base por semana.

Se obtiene la densidad de la crema base de acuerdo a la densidad de la crema final, tomando que los ingredientes en mayor cantidad son la crema base y el agua.

$$0.39\rho_{cb} + 0.455\rho_{agua} = \rho_{crema}$$

$$\rho_{cb} = \frac{\rho_{crema} - 0.455\rho_{agua}}{0.39} = \frac{1.34 \frac{\text{g}}{\text{ml}} - 0.455(1 \frac{\text{g}}{\text{ml}})}{0.39}$$

$$\rho_{cb} = 2.27 \frac{g}{ml}$$

$$V = 2 \times 1.872 \text{ kg crema base} \times \frac{l}{2.27 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.0016 \text{ m}^3$$

$$0.0016 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.0019 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.0019 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{D = 0.117 \text{ m}}$$

$$H = 0.176 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.117/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.059 \text{ m}$$

$$hf = \frac{D}{4}$$

$$hf = \frac{0.117}{4}$$

$$hf = 0.029 \text{ m}$$

$$H_t = 0.176 \text{ m} + 0.059 \text{ m} + 0.029 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_t = 0.264 \text{ m}}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.117)^2}{4} (0.264)$$

$$V_t = 0.0028 \text{ m}^3$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

C.15 Polímeros

Se necesitan 0.24 kg de ambos polímeros a la semana. Se toma la densidad aparente del Dimethicone/Vinyl Dimethicone Crosspolymer (and) Silica como referencia para su dimensionamiento [64].

$$V = 0.24 \text{ kg polímeros} \times \frac{l}{0.4 \text{ kg}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.0006 \text{ m}^3$$

$$0.0006 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.00072 \text{ m}^3$$

$$V = 0.375\pi D^3 = 0.00072 \text{ m}^3$$

$$D = 0.085 \text{ m}$$

$$H = 0.128 \text{ m}$$

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.085/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.043 \text{ m}$$

$$H_t = 0.128 \text{ m} + 0.043 \text{ m}$$

$$H_t = 0.171 \text{ m}$$

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H_t$$

$$V_t = \pi \frac{(0.085)^2}{4} (0.171)$$

$$V_t = 0.00097 \text{ m}^3$$

Dado que el diámetro es menor de 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm. Además, se necesitan dos tanques de almacenamiento para guardar los dos tipos de polímeros que se usan.

ANEXO D: Dimensionamiento de tanque agitador para lavar

El tanque debe contener las semillas y el agua. En el Anexo A.4 se calculó que el volumen de cada uno es de 0.111 m^3 .

$$V = 0.111 \frac{\text{m}^3}{\text{semana}} \times 2 = 0.222 \frac{\text{m}^3}{\text{semana}}$$

Al igual que en los tanques de almacenamiento, se sobredimensiona con el 20% por razones de seguridad.

$$V = 0.222 \text{ m}^3 \times 1.2 = 0.266 \text{ m}^3$$

El tanque es un cilindro por lo que se usa la fórmula obtenida en el Anexo C.1 para el volumen.

$$V = 0.375\pi D^3$$

$$0.266 \text{ m}^3 = 0.375\pi D^3$$

$$\mathbf{D = 0.609 \text{ m}}$$

$$H = 0.914 \text{ m}$$

Se considera que el tanque tiene techo cónico y fondo plano, por lo que se calcula la altura del techo de igual forma que en los tanques de almacenamiento.

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.609/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.309$$

$$H_t = 0.914 \text{ m} + 0.309 \text{ m}$$

$$H_t = 1.22 \text{ m}$$

Con la altura total del tanque, se vuelve a calcular el volumen total, asumiendo un tanque cilíndrico.

$$V_t = \pi \frac{D^2}{4} H = \pi \frac{(0.61)^2}{4} (1.22)$$

$$V_t = 0.357 \text{ m}^3$$

Al igual que en los tanques, al ser el diámetro menor a 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

Se necesita un agitador con un aspa y se tienen las siguientes relaciones para un tanque mezclador [62].

$$\frac{D_A}{D} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{B}{D} = \frac{1}{12}$$

$$\frac{W}{D_A} = \frac{1}{8}$$

$$E = D_A$$

D_A es el diámetro del aspa

B es el ancho de la placa deflectora

W es el ancho de las aspás

E es la distancia entre el fondo del tanque y el agitador

De estas relaciones, se puede calcular todos los parámetros.

$$D_A = 0.152 \text{ m}$$

$$B = 0.051 \text{ m}$$

$$W = 0.019 \text{ m}$$

$$E = 0.152 \text{ m}$$

Se decide realizar el lavado por un tiempo de **5 minutos** y con una agitación lenta de **15 rpm**. Para calcular la potencia del motor necesaria para mover el agitador, se debe calcular el número de Reynolds. Se utiliza la densidad y viscosidad del agua ya que la mitad es agua y las semillas están suspendidos en el agua al ser agitadas.

$$NR_e = \frac{D_A^2 N \rho}{\mu}$$

$$NR_e = \frac{(0.152 \text{ m})^2 (15 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}) (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{0.00105 \text{ kg/ms}}$$

$$NR_e = 5500.95$$

Con el número de Reynolds se puede calcular el número de potencia usando la Figura 11. Se escoge la curva 6 ya que es una que emplea la relación $\frac{W}{D_A} = \frac{1}{8}$ utilizada anteriormente.

$$N_p = 1.5$$

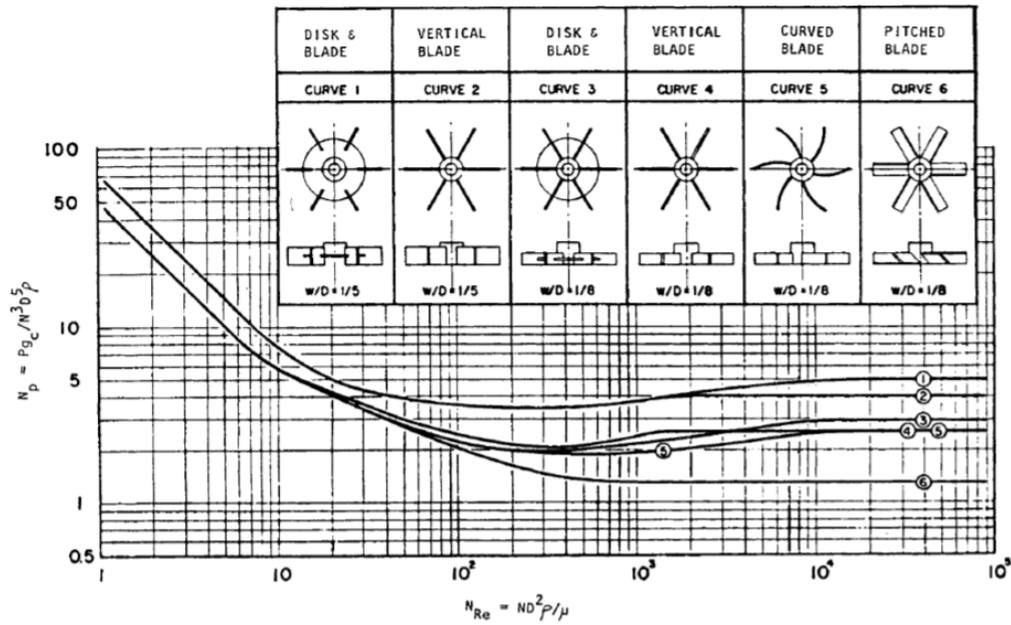


Figura 11. Número de potencia vs. Número de Reynolds para diferentes tipos de agitadores [62]

Con el número de potencia se puede calcular la potencia del motor.

$$P = N_p D_A^5 N^3 \rho$$

$$P = (1.5) (0.152)^5 \left(15 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)^3 (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

$$P = 0.0019 \text{ W}$$

Si se toma en cuenta la eficiencia del motor del agitador de 70%, se calcula la potencia real del motor.

$$P_m = \frac{P}{\eta}$$

$$P_m = \frac{1.90 \text{ E} - 3 \text{ W}}{0.7}$$

$$P_m = 0.0027 \text{ W}$$

ANEXO E: Dimensionamiento secador [57]

Se parte del balance de energía realizado para el secador en el Anexo B para calcular el flujo de aire necesario.

$$G = \frac{q_t}{C_{pG}(T_{Go} - T_{Gf})}$$

$$G = \frac{5.83 \frac{kJ}{s}}{1 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} (50 - 40) ^\circ C}$$

$$G = 0.58 \frac{kg}{s}$$

Para calcular el volumen del secador, se utilizan los datos conocidos de masa y densidad del material húmedo. Se considera que el material debe ocupar entre 7 y 8% del volumen del secador.

$$V = \frac{m_p}{0.075\rho}$$

$$V = \frac{6.90 \text{ kg}}{0.075(0.188 \frac{kg}{l})(\frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3})}$$

$$V = 0.49 \text{ m}^3$$

Se asume que el área transversal de flujo disponible para el aire es 85% del área total del secador, entonces se puede calcular el diámetro del secador.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi \frac{L}{D}}}$$

Una relación longitud-diámetro recomendada para secadores rotatorios es de $\frac{L}{D} = 5$.

$$D = \sqrt[3]{\frac{4(0.49 \text{ m}^3)}{\pi(5)}}$$

$$\mathbf{D = 0.50 \text{ m}}$$

$$L = 5D = 5(0.50 \text{ m})$$

$$\mathbf{L = 2.5 \text{ m}}$$

Además, se calcula la potencia del motor para el giro del secador. Se tiene que tomar en cuenta la relación velocidad de giro diámetro.

$$N \times D = 7 - 10$$

Se escoge el límite inferior debido a que no se necesita que gire rápidamente porque se busca solamente que no esté estático para que se seque uniformemente.

$$N = \frac{7}{D} = \frac{7}{0.5}$$

$$\mathbf{N = 14 \text{ rpm}}$$

De la velocidad de giro se calcula la velocidad de los rodillos.

$$V_r = N \frac{D}{2}$$

$$V_r = (14 \text{ rpm} \times \frac{0.1047 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{1 \text{ rpm}}) \frac{0.5}{2}$$

$$V_r = 0.37 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Otra parte importante es el cálculo de la masa de las partes en movimiento. Se tiene el árbol principal que da el movimiento mediante brazos, la malla del secador, los soportes de anillos, los elevadores que ayudan a mover las semillas y las semillas.

$$\text{Peso equipo} = 20.91 \text{ kg material} \times \frac{551.79 \text{ kg equipo}}{381 \text{ kg material}} = 30.28 \text{ kg equipo}$$

$$m_T = 20.91 \text{ kg semillas} + 30.28 \text{ kg equipo} = 51.19 \text{ kg}$$

Se estima que el número de elevadores dentro del secador (f) es 6.

$$P = 0.45m_T V_r + 0.12m_p D f N$$

$$P = 0.45(51.19 \text{ kg})(0.37 \frac{\text{m}}{\text{s}}) + 0.12(20.91 \text{ kg})(0.5 \text{ m})(6)(14 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}})$$

$$P = 10.28 \text{ W} = 0.01 \text{ kW}$$

Suponiendo una eficiencia del 70%, se calcula la potencia real del motor.

$$P_m = \frac{P}{\eta}$$

$$P_m = \frac{0.01 \text{ kW}}{0.7}$$

$$\mathbf{P_m = 0.015 \text{ kW}}$$

ANEXO F: Dimensionamiento peladora [65]

La parte más importante de la peladora es el rodillo que ejerce la fuerza para romper las semillas y separar el núcleo de la cáscara. Es por esto que se calcula la potencia que necesita el motor para mover el rodillo. La potencia (P) depende del torque (T) y la velocidad radial del rodillo (w). Por otro lado, el torque depende de la fuerza (F_a) y el diámetro de la semilla (d).

$$P = T \times w$$

$$T = F_a \times d$$

Para la fuerza que se aplica sobre la semilla, se calcula el número de semillas que se pelan en el equipo. El diámetro promedio de la semilla de moringa con cáscara es de 7 mm, por lo que se puede calcular el volumen promedio de la semilla.

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2} \right)^3$$

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{0.007m}{2} \right)^3 = 1.80 \times 10^{-7} m^3$$

Con el volumen de cada semilla, se puede calcular el número de semillas que se pelan a partir de la masa de semillas con cáscara y su volumen aparente.

$$\begin{aligned} \# \text{ semillas} &= 7 \text{ kg semilla con cáscara} \times \frac{l}{0.188 \text{ kg}} \times \frac{1 m^3}{1000 l} \times \frac{\text{semilla}}{1.80 \times 10^{-7} m^3} \\ &= 206856 \text{ semillas} \end{aligned}$$

Se planea realizar esta operación en un tiempo de 10 minutos.

$$\text{flujo semillas} = \frac{206856 \text{ semillas}}{10 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$\text{flujo semillas} = 345 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}$$

De la literatura, se sabe que, al procesar 500 semillas por segundo, el rodillo ejerce una fuerza de 1671.1 N y tiene una velocidad de 438 rpm, por lo que se calcula la fuerza y la velocidad para la peladora a utilizarse.

$$345 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}} \times \frac{1671.1 \text{ N}}{500 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}} = 1153.1 \text{ N}$$

$$345 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}} \times \frac{438 \text{ rpm}}{500 \frac{\text{semillas}}{\text{segundo}}} = 302 \text{ rpm}$$

Entonces, se puede calcular el torque del rodillo y la potencia del motor.

$$T = 1153.1 \text{ N} \times 0.007 \text{ m} = 8.07 \text{ Nm}$$

$$P = 8.07 \text{ Nm} \times 438 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$P = 0.044 \text{ kW}$$

Se calcula la potencia real del motor.

$$P_m = \frac{0.044}{0.7}$$

$$\mathbf{P_m = 0.063 \text{ kW}}$$

ANEXO G: Dimensionamiento extrusora [66]–[68]

Se decide hacer el proceso de extrusión en 10 minutos ya que se necesita una cantidad pequeña de aceite, por lo que se puede hacer en poco tiempo, por lo que se puede calcular el flujo másico y volumétrico de semillas y aceite.

$$\text{Flujo másico semillas} = \frac{5.2 \text{ kg semillas}}{10 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 31.05 \frac{\text{kg semillas}}{\text{h}}$$

$$\text{Flujo volumétrico semillas (Q)} = 31.05 \frac{\text{kg semillas}}{\text{h}} \times \frac{l}{0.4 \text{ kg}} = 77.63 \frac{l \text{ semillas}}{\text{h}}$$

$$\text{Flujo másico aceite} = \frac{1.03 \text{ kg aceite}}{10 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 6.18 \frac{\text{kg aceite}}{\text{h}}$$

$$\text{Flujo volumétrico aceite} = 6.18 \frac{\text{kg aceite}}{\text{h}} \times \frac{l}{0.873 \text{ kg}} = 7.08 \frac{l \text{ aceite}}{\text{h}}$$

Además, considerando una eficiencia de alimentación del 90%, se determina el flujo volumétrico de semillas real.

$$Q_{\text{entrada}} = \frac{Q}{\eta}$$

$$Q_{\text{entrada}} = \frac{77.63 \frac{l \text{ semillas}}{\text{h}}}{0.9} = 86.25 \frac{l \text{ semillas}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$Q_{\text{entrada}} = 0.086 \text{ m}^3$$

Entonces, se puede determinar el flujo de salida total y los que corresponden a la torta y al aceite. Se sabe que el flujo volumétrico de entrada se reduce a la mitad a la salida, por lo que se puede calcular el flujo de salida.

$$Q_{\text{salida}} = \frac{Q_{\text{entrada}}}{2} = \frac{86.25 \frac{l}{\text{h}}}{2} = 43.125 \frac{l}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$Q_{salida} = 0.043 \text{ m}^3$$

El flujo de salida está compuesto por el flujo de aceite y el flujo de la torta que salen de la extrusora. Dado que ya se conocen los flujos de salida y de aceite que se necesita, se puede calcular el flujo de la torta.

$$Q_{salida} = Q_{aceite} + Q_{torta}$$

$$Q_{torta} = Q_{salida} - Q_{aceite}$$

$$Q_{aceite} = 0.0071 \text{ m}^3$$

$$Q_{torta} = 43.125 \frac{l}{h} - 7.08 \frac{l}{h} = 36.05 \frac{l}{h} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 l}$$

$$Q_{torta} = 0.036 \text{ m}^3$$

De acuerdo a la capacidad de la extrusora calculada en el Anexo A, se buscan extrusoras comerciales con una capacidad de semillas similar para saber la máxima potencia del motor. Para una capacidad de semillas entre 20 y 50 kg de semillas por hora, la potencia del motor es de **3 kW**.

Se usa un tornillo de diámetro que varía debido a que el aumento de presión es mayor que con un tornillo de diámetro constante. Además, las semillas se comprimen de dos maneras. La primera se debe a que las semillas de la alimentación comprimen a las que ya están en la extrusora. La segunda se da en el área entre el interior del barril y la superficie del tornillo. Dado que esta área disminuye mientras aumenta el diámetro del tornillo, ocurre una compresión de las semillas. El concepto del tornillo se presenta en la Figura 12. Sin embargo, para los cálculos se aproxima como un diámetro constante, ya que el ángulo de cambio del diámetro es alrededor de 2.5° .

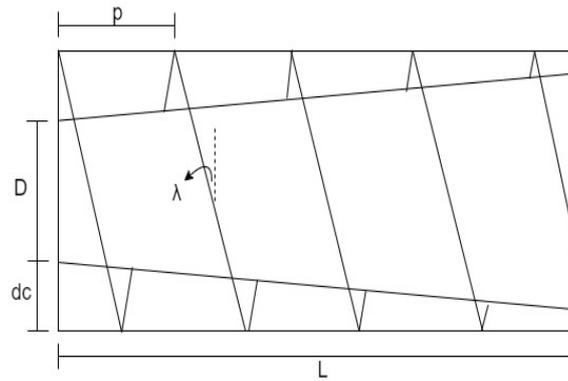


Figura 12. Esquema del tornillo de la extrusora

D es el diámetro del tornillo

dc es la profundidad del canal entre el barril y el tornillo

p es el paso o distancia entre las roscas del tornillo

L es la longitud del tornillo

λ es el ángulo de hélice de espas.

En las extrusoras de aceite, la velocidad de rotación del tornillo (N) está entre 15 y 90 rpm, y un valor común de diseño es **30 rpm** o 0.5 rps. Además, se asume $\lambda = 16^\circ$. Para el cálculo del diámetro del tornillo, se parte de la ecuación de flujo volumétrico por arrastre (Q_d), que es el flujo de salida. Y se usan dos fórmulas para relacionar λ , p y dc .

$$Q_d = 0.5\pi^2 D^2 N d_c \sin \lambda \cos \lambda$$

$$\tan \lambda = \frac{p}{\pi D}$$

$$dc = \frac{0.6866 p}{2}$$

Reemplazando las ecuaciones anteriores en la primera, se obtiene una ecuación para el flujo volumétrico por arrastre en términos de N y λ , que se conocen, y D , que se quiere encontrar. Si se utilizan los datos ya conocidos, se puede obtener D . El flujo debe tener unidades de $\frac{m^3}{s}$, por lo que se realiza la conversión.

$$Q_d = 0.17165\pi^2 D^3 N \sin^2 \lambda$$

$$44.44 \frac{l}{h} \times \frac{1 m^3}{1000 l} \times \frac{1 h}{3600 s} = 1.23 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

$$1.23 \times 10^{-5} = 0.17165\pi^2 D^3 (0.5) \sin^2 16$$

$$\mathbf{D = 0.058 m}$$

$$\tan 16 = \frac{p}{\pi(0.058m)}$$

$$\mathbf{p = 0.052 m}$$

Generalmente, el paso del tornillo tiene un valor cercano al diámetro del tornillo.

$$dc = \frac{0.6866 (0.052m)}{2}$$

$$\mathbf{dc = 0.018 m}$$

Se calcula la longitud del tornillo. Un parámetro de diseño importante es la relación longitud-diámetro, L/D , que generalmente se encuentra entre 3 y 30, por lo que se toma un valor de 10.

$$\frac{L}{0.058m} = 10$$

$$\mathbf{L = 0.580 m}$$

Finalmente, se calcula la máxima presión estática de la extrusora con la viscosidad del aceite (η), 0.0795 Ns/m² [11].

$$P_{max} = \frac{6\pi DNL\eta \cot \lambda}{d_c^2}$$

$$P_{max} = \frac{6\pi(0.058)(0.5)(0.58)(0.0795) \cot 16}{(0.018)^2}$$

$$\mathbf{P_{max} = 271.3 Pa}$$

ANEXO H: Dimensionamiento mezcladoras [62]

H.1 Mezcladora 1

Para calcular el volumen que debe contener, se debe tomar en cuenta el volumen máximo que debe contener. Estos son los 4.8 kg de crema que se producen semanalmente. La densidad de la crema se midió experimentalmente, por lo que se puede calcular el volumen que ocupa esta masa.

$$V = 4.8 \text{ kg crema} \times \frac{m^3}{1340 \text{ kg}} = 0.00358 \text{ m}^3 \text{ crema}$$

Se considera que es un tanque cilíndrico y su relación altura-diámetro para un tanque de una mezcladora.

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

$$H = D$$

$$V = \pi \frac{D^3}{4}$$

$$0.00358 \text{ m}^3 = \pi \frac{D^3}{4}$$

$$H = D = \mathbf{0.166 \text{ m}}$$

Se debe tener un espacio extra para protección de sobrellenado, que se asume como 25% del volumen.

$$V = 0.00358 \text{ m}^3 \times 1.25 = 0.00448 \text{ m}^3$$

Como el diámetro del tanque es menor a 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

Además, se debe calcular la altura del techo y del cónico. El techo se calcula de la misma manera que para los tanques de almacenamiento.

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.166/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.084 \text{ m}$$

El fondo tiene una forma elipsoidal y se debe calcular su altura.

$$hf = \frac{D}{4}$$

$$hf = \frac{0.166}{4}$$

$$hf = 0.0415 \text{ m}$$

Para calcular la altura total se suman todas las alturas calculadas.

$$H_T = 0.207 \text{ m} + 0.084 \text{ m} + 0.042 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_T = 0.333 \text{ m}}$$

Se calcula el volumen total del tanque con la altura total considerando una forma cilíndrica.

$$V_T = \pi \frac{(0.166\text{m})^2}{4} (0.333\text{m})$$

$$\mathbf{V_T = 0.0072 \text{ m}^3}$$

Se necesita un agitador con un aspa y se usan las mismas relaciones que en el Anexo D.

$$\mathbf{D_A = 0.0415 \text{ m}}$$

$$\mathbf{B = 0.0138 \text{ m}}$$

$$W = 0.005 \text{ m}$$

$$E = 0.0415 \text{ m}$$

Para calcular la potencia del motor necesaria para mover el agitador, se debe calcular el número de Reynolds al igual que en el Anexo D. Se utiliza la densidad de la crema medida y viscosidad encontrada de una crema, $1340 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ [69]. Se conoce que la crema debe ser mezclada a 500 rpm.

$$NR_e = \frac{D_A^2 N \rho}{\mu}$$

$$NR_e = \frac{(0.0415 \text{ m})^2 (500 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}) (1340 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{21 \text{ kg/ms}}$$

$$NR_e = 0.9158$$

Con el número de Reynolds se puede calcular el número de potencia usando la Figura 11. Se escoge la curva 6 nuevamente.

$$N_p = 50$$

Con el número de potencia se puede calcular la potencia del motor.

$$P = N_p D_A^5 N^3 \rho$$

$$P = (50) (0.0415)^5 \left(500 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}\right)^3 (1340 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

$$P = 4.77 \text{ W}$$

De igual manera, se toma en cuenta la eficiencia del motor del agitador de 70%, se calcula la potencia real del motor.

$$P_m = \frac{P}{\eta}$$

$$P_m = \frac{4.77 \text{ W}}{0.7}$$

$$P_m = 6.81 \text{ W}$$

Se debe calcular el flujo interno del tanque.

$$Q = N_Q N D_A^3$$

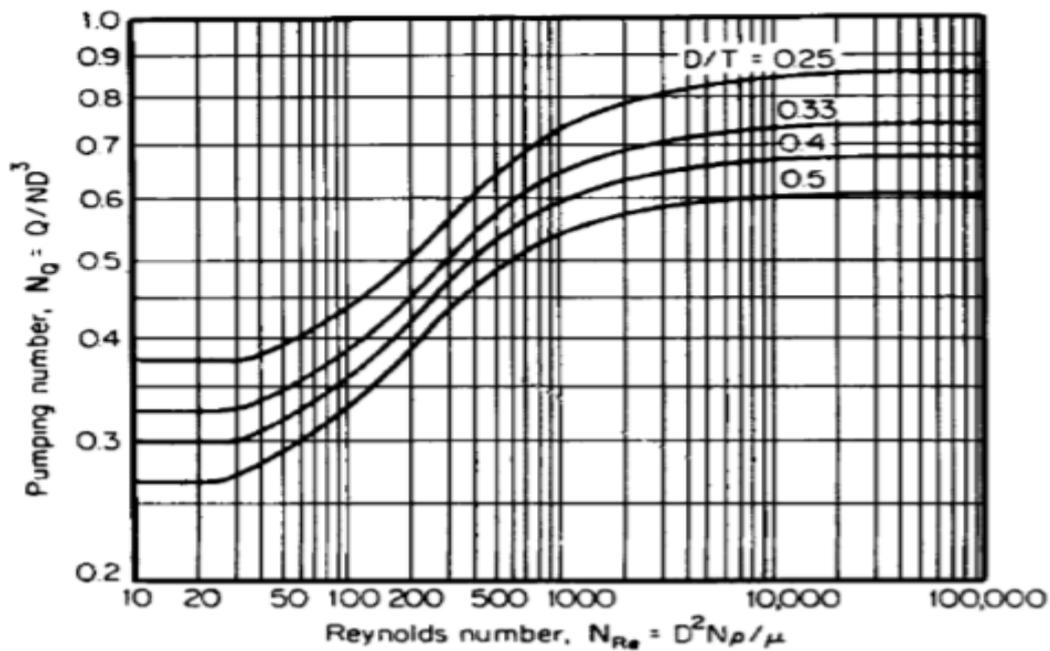


Figura 13. Número de flujo vs. Número de Reynolds

Debido a que la relación $\frac{D_A}{D} = \frac{1}{4}$, se escoge la curva superior en la Figura 13 y se busca

$$NR_e \approx 1.$$

$$N_Q = 0.38$$

$$Q = (0.38) \left(500 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) (0.0415)^3$$

$$Q = 0.000226 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para el cálculo del tiempo de mezcla, se debe encontrar el número de rotaciones del aspa que necesita la crema. Se considera la viscosidad de la crema, se establece que se necesitan más de 100 rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad. Entonces, se determina que el aspa realiza alrededor de 500 rotaciones.

$$t_{95} = \frac{n \times V}{Q}$$

$$t_{95} = \frac{500 \times (0.0072 \text{ m}^3)}{0.000226 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 15929.20 \text{ s}$$

Se corrige este tiempo para alcanzar el 99% de homogeneidad.

$$t_{99} = 1.537t_{95}$$

$$t_{99} = 1.537(15929.20 \text{ s})$$

$$t_{99} = 24483.19 \text{ s} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$\mathbf{t_{99} = 6.8 \text{ h}}$$

Finalmente, la mezcla debe enfriarse hasta 30 °C para poder añadir la segunda mezcla y los aceites extraídos. Se debe calcular el tiempo que demora en este proceso.

$$T_f = T_a + (T_o - T_a)e^{-kt}$$

$$k = \frac{hA}{mC_p}$$

El cálculo de la constante k involucra el coeficiente de transferencia de calor. En este caso, se usa el coeficiente global para tanques de carbono o acero inoxidable con chaqueta para enfriamiento, $350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$ [70].

$$A_{cilindro} = \pi DH = \pi(0.166\text{m})(0.333\text{m}) = 0.174 \text{ m}^2$$

$$k = \frac{(350 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C})(0.174 m^2)}{4.8 kg (2670 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C})} = 4.75E - 3 \frac{1}{s}$$

$$30^\circ C = 18^\circ C + (80^\circ C - 18^\circ C)e^{-4.75E-3 \frac{1}{s} t}$$

$$t = 345.73 s \times \frac{1 h}{3600 s} = 5.76 min$$

$$\mathbf{t = 5.76 min}$$

H.2 Mezcladora 2

En la segunda mezcladora se incorpora el agua y los polímeros, cuya masa es de 1.332 kg (corriente 32). Como la mayor parte es agua, se asume la densidad del agua.

$$V = 1.332 kg \text{ crema} \frac{m^3}{1000 kg} = 0.00133 m^3$$

Se considera la misma forma que la primera mezcladora.

$$V = \pi \frac{D^3}{4}$$

$$0.00133 m^3 = \pi \frac{D^3}{4}$$

$$\mathbf{H = D = 0.119 m}$$

Se debe tener un espacio extra para protección de sobrellenado, que se asume como 25% del volumen.

$$V = 0.00133 m^3 \times 1.25 = 0.00166 m^3$$

Como el diámetro del tanque es menor a 15 m, el espesor de la pared es de 4.76 mm.

Además, se debe calcular la altura del techo y del cónico. El techo se calcula de la misma manera que para la primera mezcladora.

$$ht = \frac{D/2}{\cos \alpha}$$

$$ht = \frac{0.119/2}{\cos 9.5}$$

$$ht = 0.060 \text{ m}$$

El fondo tiene una forma elipsoidal y se debe calcular su altura.

$$hf = \frac{D}{4}$$

$$hf = \frac{0.119}{4}$$

$$hf = 0.030 \text{ m}$$

Para calcular la altura total se suman todas las alturas calculadas.

$$H_T = 0.149 \text{ m} + 0.060 + 0.030 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_T = 0.239 \text{ m}}$$

Se calcula el volumen total del tanque con la altura total considerando una forma cilíndrica.

$$V_T = \pi \frac{(0.119\text{m})^2}{4} (0.239\text{m})$$

$$\mathbf{V_T = 0.00266 \text{ m}^3}$$

Se necesita un agitador con un aspa y se usan las mismas relaciones que en el Anexo D.

$$\mathbf{D_A = 0.0298 \text{ m}}$$

$$\mathbf{B = 0.010\text{m}}$$

$$W = 0.004 \text{ m}$$

$$E = 0.0298 \text{ m}$$

Para calcular la potencia del motor necesaria para mover el agitador, se debe calcular el número de Reynolds al igual que en la primera mezcladora. Se utiliza la densidad y viscosidad del agua. Se conoce que la crema debe ser mezclada a 500 rpm.

$$NR_e = \frac{D_A^2 N \rho}{\mu}$$

$$NR_e = \frac{(0.0298 \text{ m})^2 (500 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}) (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})}{0.00105 \text{ kg/ms}}$$

$$NR_e = 7047.94$$

Con el número de Reynolds se puede calcular el número de potencia usando la Figura 11. Se escoge la curva 6 nuevamente.

$$N_p = 0.5$$

Con el número de potencia se puede calcular la potencia del motor.

$$P = N_p D_A^5 N^3 \rho$$

$$P = (0.5) (0.0298)^5 \left(500 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)^3 (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$$

$$P = 0.0070 \text{ W}$$

De igual manera, se toma en cuenta la eficiencia del motor del agitador de 70%, se calcula la potencia real del motor.

$$P_m = \frac{P}{\eta}$$

$$P_m = \frac{0.0070 \text{ W}}{0.7}$$

$$P_m = 0.01 W$$

Se debe calcular el flujo interno del tanque.

$$Q = N_Q N D_A^3$$

Debido a que la relación $\frac{D_A}{D} = \frac{1}{4}$, se escoge la curva superior en la Figura 11; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se busca $NR_e = 7048$.

$$N_Q = 0.83$$

$$Q = (0.83) \left(500 \text{ rpm} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) (0.0298)^3$$

$$Q = 0.000183 \frac{m^3}{s}$$

Para el cálculo del tiempo de mezcla, se debe encontrar el número de rotaciones del aspa que necesita la crema. Se considera la viscosidad del agua, por lo que se necesitan 3 rotaciones para alcanzar 95% de homogeneidad.

$$t_{95} = \frac{n \times V}{Q}$$

$$t_{95} = \frac{3 \times (0.00266 \text{ m}^3)}{0.000183 \frac{m^3}{s}} = 43.61 \text{ s}$$

Se corrige este tiempo para alcanzar el 99% de homogeneidad.

$$t_{99} = 1.537 t_{95}$$

$$t_{99} = 1.537 (43.61 \text{ s})$$

$$t_{99} = 67.02 \text{ s} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$t_{99} = 0.02 \text{ h}$$

ANEXO I: Dimensionamiento destilador y envasadora

En el Anexo A se calculó la cantidad de agua destilada que se necesita semanalmente. A partir de este dato se buscó un destilador comercial que destile al menos la cantidad necesaria.

Igualmente, se sabe la masa de crema que se debe envasar y que se envasan tubos de 200 g. Es por esto que se busca una envasadora comercial que también selle los envases y que dosifique al menos 200 g.

$$V = 200 \text{ g} \times \frac{\text{ml}}{1.34 \text{ g}}$$

$$V = 149.25 \text{ ml}$$

ANEXO J: Análisis de costos [71]

J.1 Costo equipos

Primero, se estima el costo de los equipos. Los parámetros de la fórmula se obtienen de la Tabla 27.

$$C_e = a + bS^n$$

Tabla 27. Parámetros para equipos comunes

Equipo	Unidades de S	a	b	n
Tanque con techo cónico	Capacidad [m ³]	5700	700	0.7
Agitador	Potencia del motor [kW]	4300	1920	0.8
Secador rotatorio de contacto directo	Área [m ²]	-7400	4350	0.9

Se usa este método de estimación de costo para estos equipos, mientras que para los que no se encuentran los parámetros, se usa el precio de mercado del equipo con las características necesarias para cada uno. Estos costos se muestran en la Tabla 28 y

Tabla 29.

Tabla 28. Cálculo de costo de equipos

Equipo	s	Unidades	C _e (\$)	# equipos	C _{ef} (\$)
Tanque almacenamiento moringa	2.16	m3	6900.10	2	13800.19
Tanque almacenamiento semilla pelada	0.539	m3	6154.16	1	6154.16
Tanque almacenamiento aceite moringa	0.0021	m3	5709.35	1	5709.35
Tanque almacenamiento chia	0.043	m3	5777.36	1	5777.36
Tanque almacenamiento chia seca	0.041	m3	5774.83	1	5774.83
Tanque almacenamiento aceite chia	0.0018	m3	5708.39	1	5708.39
Tanque almacenamiento maracuyá	0.055	m3	5791.91	1	5791.91
Tanque almacenamiento maracuyá seca	0.043	m3	5777.36	1	5777.36
Tanque almacenamiento aceite marcuya	0.0019	m3	5708.71	1	5708.71
Tanque almacenamiento sachá inchi	0.25	m3	5965.25	1	5965.25
Tanque almacenamiento sachá inchi pelada	0.078	m3	5817.37	1	5817.37

Tanque almacenamiento aceite sachá inchi	0.0018	m3	5708.39	1	5708.39
Tanque almacenamiento aceite aguacate	4.70E-04	m3	5703.28	1	5703.28
Tanque almacenamiento crema base	0.0028	m3	5711.43	1	5711.43
Tanque almacenamiento polímeros	0.00097	m3	5705.44	2	11410.89
Tanque lavado	0.357	m3	6040.38	1	6040.38
	6E-07	kW	4300.02	1	4300.02
Secador	3.77	m2	6961.39	1	6961.39
Mezcladora 1	0.0072	m3	14487.14	1	14487.14
Mezcladora 2	0.00266	m3	4316.719	1	4316.719
	0.00001	kw	11000.04	1	11000.04

Tabla 29. Costo de equipos adquiridos

Equipo	Ce (\$)	Costo importación	Cef (\$)
Peladora	1500.00 [72]	1.4	2100.00
Extrusora	9130.00 [73]	1.4	12782.00
Destilador agua	230.00 [74]	1.4	322.00
Envasadora	5100.00 [75]	1.4	7140.00

A continuación, se debe hacer ajustes debido al montaje del equipo, las tuberías, la electricidad, la instrumentación, entre otros factores. Para esto, se usa el método factorial detallado. Los valores para cada factor dependen del tipo de procesamiento y del material del equipo. Estos se muestran en la Tabla 30 y Tabla 31. En la

Tabla 32 se muestran los factores usados en los cálculos realizados.

$$C = \sum C_e [(1 + f_p)f_m + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_c + f_s + f_l)]$$

Tabla 30. Factores por tipo de procesamiento

Factor	Significado	Tipo procesamiento		
		Fluidos	Mixto	Sólidos
f_{er}	Montado de equipo	0.3	0.5	0.6
f_p	Tuberías	0.8	0.6	0.2
f_i	Instrumentación y control	0.3	0.3	0.2
f_{el}	Electricidad	0.2	0.2	0.15

f_c	Civil	0.3	0.3	0.2
f_s	Estructura	0.2	0.2	0.1
f_l	Pintura, recubrimiento, aislamiento	0.1	0.1	0.05

Tabla 31. Factor de material

Material	f_m
Acero carbono	1.0
Aluminio/bronce	1.07
Hierro fundido	1.1
304 Acero inoxidable	1.3
316 Acero inoxidable	1.3
321 Acero inoxidable	1.5
Níquel	1.7

Tabla 32. Uso de factores en los equipos

Equipo	f_p	f_m	f_{er}	f_{el}	f_i	f_c	f_s	f_l	C (\$)
Tanque almacenamiento moringa	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	28290.39
Tanque almacenamiento semilla pelada	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	12616.03
Tanque almacenamiento aceite moringa	0	1.3	0.30	0.2	0	0.3	0.2	0	13131.50
Tanque almacenamiento chia	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	11843.59
Tanque almacenamiento chia seca	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	11838.39
Tanque almacenamiento aceite chia	0	1.3	0.30	0.2	0	0.3	0.2	0	13129.3
Tanque almacenamiento maracuyá	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	11873.41
Tanque almacenamiento maracuyá seca	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	11843.59
Tanque almacenamiento aceite maracuyá	0	1.3	0.30	0.2	0	0.3	0.2	0	13130.04
Tanque almacenamiento sachá inchi	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	12228.76
Tanque almacenamiento sachá inchi pelada	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	11925.61
Tanque almacenamiento aceite sachá inchi	0	1.3	0.30	0.2	0	0.3	0.2	0	13129.3
Tanque almacenamiento aceite aguacate	0	1.3	0.30	0.2	0	0.3	0.2	0	13117.54

Tanque almacenamiento crema base	0	1.3	0.30	0.2	0	0.3	0.2	0	13136.29
Tanque almacenamiento polímeros	0	1.3	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	26815.58
Tanque lavado	0	1	0.50	0.2	0	0.3	0.2	0	13288.84
	0	1	0.50	0.2	0	0.3	0.2	0	9460.044
Secador	0	1	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0.05	14618.92
Peladora	0	0	0.60	0.15	0	0.2	0.1	0	2205.00
Extrusora	0	0	0.50	0.2	0	0.3	0.2	0	15338.40
Destilador agua	0	0	0.30	0.2	0	0.3	0.2	0	322.00
Envasadora	0	0	0.30	0.2	0	0.3	0.2	0	7140.00
Mezcladora 1	0	1.3	0.3	0.2	0	0.3	0.2	0	33320.42
Mezcladora 2	0	1.3	0.3	0.2	0	0.3	0.2	0	9928.453
	0	1.3	0.3	0.2	0	0.3	0.2	0	25300.10

Si se suma el costo una vez aplicados los factores, se puede obtener el valor total, tomando en cuenta la precisión de $\pm 10\%$ del método, mostrado en la Tabla 33.

Tabla 33. Suma de costos

Suma de costos [\$]	Costo -10% [\$]	Costo +10% [\$]
348971.50	314074.35	383868.65

J.2 Costo total

El primer componente de los costos es la inversión de capital fijo. Se toma en cuenta que el costo de los equipos del Anexo J.1 J.1 Costo equiposes el ISBL. En base a este, se puede calcular el resto de parámetros de costo.

$$OSBL = 0.4 \times ISBL$$

$$OSBL = 0.4 \times 348971.50$$

$$OSBL = \$ 139588.60$$

$$Costo\ ingeniería = 0.1 \times (ISBL + OSBL)$$

$$Costo\ ingeniería = 0.1 \times (348971.50 + 139588.60)$$

$$Costo\ ingeniería = \$ 48856.01$$

$$\text{Gastos imprevistos} = 0.15 \times (\text{ISBL} + \text{OSBL})$$

$$\text{Gastos imprevistos} = 0.15 \times (348971.50 + 139588.60)$$

$$\text{Gastos imprevistos} = \$ 73284.02$$

El segundo componente de los costos es el capital de trabajo. Igualmente, se determina de acuerdo al ISBL y OSBL calculados previamente.

$$\text{Capital de trabajo} = 0.05 \times (\text{ISBL} + \text{OSBL})$$

$$\text{Capital de trabajo} = 0.05 \times (348971.50 + 139588.60)$$

$$\text{Capital de trabajo} = \$ 24428.01$$

El último componente de los costos son los costos de producción, que incluye los costos variables y fijos anuales.

$$\text{Costos variables (VCOP)}$$

$$= \text{costo materias primas} + \text{costo agua potable}$$

$$+ \text{costo electricidad}$$

$$\text{Costos variables (VCOP)} = 15242.22 + 6.89 + 19.60$$

$$\text{Costos variables (VCOP)} = \$ 15249.11$$

$$\text{Costos fijos (FCOP)}$$

$$= \text{gastos salariales} + \text{costo mantenimiento}$$

$$+ \text{costo impuestos propiedad} + \text{gastos generales}$$

Los componentes de costos fijos se pueden establecer en base al sueldo básico unificado y al ISBL y OSBL calculados previamente.

$$\text{Gastos salariales} = \text{sueldo operario}$$

$$\text{Gastos salariales} = \frac{\$ 545}{\text{mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}$$

$$\text{Gastos salariales} = \$ 6540$$

$$\text{Mantenimiento} = 0.03 \times \text{ISBL}$$

$$\text{Mantenimiento} = 0.03 \times 348971.50$$

$$\text{Mantenimiento} = \$ 10469.15$$

$$\text{Impuestos propiedad} = 0.02 \times \text{ISBL}$$

$$\text{Impuestos propiedad} = 0.02 \times 348971.50$$

$$\text{Impuestos propiedad} = \$ 6979.43$$

$$\text{Gastos generales} = 0.65 \times (\text{gastos salariales} + \text{mantenimiento})$$

$$\text{Gastos generales} = 0.65 \times (6540 + 10469.15)$$

$$\text{Gastos generales} = \$ 11055.94$$

$$\text{Costos fijos (FCOP)} = 6540 + 10469.15 + 6979.43 + 11055.94$$

$$\text{Costos fijos (FCOP)} = \$ \mathbf{28065.09}$$

$$\text{Costo total} = \text{ISBL} + \text{OSBL} + \text{Ingeniería y construcción}$$

$$+ \text{Gastos imprevistos} + \text{Capital de trabajo} + \text{VCOP} + \text{FCOP}$$

$$\text{Costo total} = \$ \mathbf{706507.40}$$

ANEXO K: Análisis de ingresos

Los ingresos se dividen en ingresos, margen y beneficio, que se calculan en base anual.

$$\text{Ingresos} = \text{venta productos primarios}$$

$$\text{Ingresos} = (\$ 27.95 \times 24 \text{ tubos} \times 52 \text{ semanas})$$

$$+ ((\$ 28 + 2.18 + 1.44 + 3.75) \times 16 \text{ frascos} \times 52 \text{ semanas})$$

$$\text{Ingresos} = \$ 64309.44$$

$$\text{Margen} = \text{ingresos} - \text{costo materias primas}$$

$$\text{Margen} = 64309.44 - 15242.22$$

$$\text{Margen} = \$ 49067.22$$

$$\text{Costo en efectivo de producción (CCOP)} = \text{FCOP} + \text{VCOP}$$

$$\text{Costo en efectivo de producción (CCOP)} = 15249.11 + 28065.09$$

$$\text{Costo en efectivo de producción (CCOP)} = \$ 43314.20$$

$$\text{Beneficio bruto} = \text{ingresos} - \text{CCOP}$$

$$\text{Beneficio bruto} = 64309.44 - 43314.20$$

$$\text{Beneficio bruto} = \$ 20995.24$$

$$\text{Beneficio neto} = \text{Beneficio bruto} - \text{impuestos}$$

$$\text{Beneficio neto} = 20995.24 - 0$$

$$\text{Beneficio neto} = \$ 20995.24$$

ANEXO L: Análisis de tiempo de retorno de la inversión [71]

Se calcula el retorno de la inversión y el tiempo de recuperación de la inversión.

$$\text{Retorno de la inversión [ROI]} = \frac{\text{Beneficio anual neto}}{\text{Inversión total}} \times 100\%$$

$$\text{Retorno de la inversión [ROI]} = \frac{\$ 28065.09}{\$ 706507.40} \times 100\%$$

$$\text{Retorno de la inversión [ROI]} = 2.97\%$$

$$T.\text{recup} = \frac{\text{inversión inicial total}}{\text{beneficio neto anual}}$$

$$T.\text{recup} = \frac{\$ 706507.40}{\frac{\$ 28065.09}{\text{año}}}$$

$$T.\text{recup} = 33.65 \text{ años}$$