

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio de prefactibilidad de un proceso industrial para el
aprovechamiento de cáscaras de naranja en la producción de
bioplásticos**

Jairo Andrés Jaramillo Riera

Ingeniería Química

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

Quito, 08 de Mayo de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Estudio de prefactibilidad de un proceso industrial para el aprovechamiento
de cáscaras de naranja en la producción de bioplásticos**

Jairo Andrés Jaramillo Riera

**Nombre del profesor, Título académico
Nombre del profesor, Título académico**

**José Francisco Álvarez Barreto, Ph. D.
Juan Diego Fonseca Ashton, Ph.D.**

Quito, 08 de Mayo de 2023

© 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 la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Jairo Andrés Jaramillo Riera

Código: 00323149

Cédula de identidad: 1720886272

Lugar y fecha: Quito, 08 de Mayo de 2023

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UNPUBLISHED DOCUMENT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 proyecto se estudia la prefactibilidad de una planta de producción de pellets de bioplástico usando cáscara de naranja en el Ecuador. La materia orgánica seleccionada es un producto de segunda generación proveniente de la producción de jugos naturales. En base a esta limitante, se definió un caudal de producción de $1,28 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$ de bioplástico con 20% de cáscara de naranja seca. El diseño fue realizado usando una combinación entre aplicación de metodología establecida en la ingeniería y consulta de datos en catálogos públicos disponibles. El proceso seleccionado se divide en dos etapas continuas. La primera consiste en un pretratamiento de las cáscaras que reduce su humedad al 10%. La segunda etapa se encarga de reducir el tamaño de partícula a menos de dos milímetros y de mezclar las cáscaras con ácido poliláctico para finalizar con un proceso de extrusión, resultando en pellets de cinco centímetros almacenados en sacos de 25 kg. Se realizó un análisis económico en base a un balance de masa y energía junto con métodos de estimación de costos. Se estableció una tasa interna de retorno del 42% y un tiempo de recuperación de inversión de 4,59 años, comprobando así una rentabilidad positiva del proyecto. Con ayuda de un estudio de flexibilidad, se determinaron las variables de mayor impacto en el análisis económico del proyecto y se concluyó que a mayor disponibilidad de cáscaras de naranja y a menores concentraciones de las cáscaras en la formulación, la rentabilidad de la planta incrementa.

Palabras clave: bioplástico, cáscara de naranja, ácido poliláctico, extrusión, pellets.

ABSTRACT

This project studies the prefeasibility of implementing an industrial plant in Ecuador to produce bioplastic pellets using orange peels. The selected organic matter is also a second-generation product coming from the production of natural fruit juice. Based on this limiting factor, a production flow of $1,28 \frac{\text{ton}}{\text{day}}$ of bioplastic was determined using 20% of dried orange peel. The design was done using a combination of applied methodology already established in engineering processes and the consultation of data in available catalogues. The process selected is divided into two different continuous stages. The first one consists in a pretreatment of the orange peels that reduces its humidity up to 10%. The second stage reduces the particle size below two millimeters and mixes the orange peels with polylactic acid, finishing with an extrusion process and ending in five-centimeter pellets stored in 25 kg bags. An economic balance was done based on a mass and energy balance and different methods of cost estimations. An internal return rate of 42% was established together with a payback period of 4,59 years, proving the project profitable. The variables with most impact in the economic analysis were determined with the aid of a flexibility study and the conclusion was reached that the profitability of the industrial plant increases at a greater availability of the orange peels and at lower concentrations of orange peels.

Keywords: bioplastic, orange peels, polylactic acid, extrusion, pellets.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	12
Antecedentes de una planta de bioplásticos con sustitutos orgánicos.	12
Objetivos del proyecto	14
1.1.1. Objetivo general.....	14
1.1.2. Objetivos específicos	14
Justificación de una planta de producción de bioplásticos en el Ecuador	14
Resultados esperados de la implementación del proyecto	16
CAPÍTULO 2: BASES DE DISEÑO	18
2.1. Descripción de materias primas comunes en la industria de bioplásticos	18
2.2. Procesos para la producción de bioplástico con cáscara de naranja como sustituto.....	20
2.2.1. Biopolímeros a base de glicerol	20
2.2.2. Biopolímeros a base de polietileno de baja densidad	21
2.2.3. Biopolímeros a base de ácido poliláctico.....	22
2.3. Limitaciones presentes en el proyecto	24
2.4. Terminología especializada	25
CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO ...	27
3.1. Selección del proceso de producción.....	27
3.2. Descripción del proceso seleccionado	27
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICO USANDO PLA Y CÁSCARAS DE NARANJA.....	30
4.1. Selección de equipos.....	30
4.1.1. Equipos usados en la primera etapa de producción	30
4.1.2. Equipos usados en la segunda etapa de producción.....	31
4.2. Dimensionamiento de los equipos	32
4.2.1. Dimensionamiento por catálogo	33
4.2.2. Dimensionamiento por metodología.....	33
4.3. Consumo energético de los equipos.....	34
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE FLEXIBILIDAD DEL PROYECTO	35
5.1 Estimación de costos.....	35

5.1.1. Estimación de costos de los equipos	35
5.1.2. Estimación de capital fijo y capital de trabajo	36
5.1.3. Estimación de costos de producción	36
5.2. Evaluación de la rentabilidad del proyecto	38
5.3. Análisis de flexibilidad	39
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO.....	42
CAPÍTULO 7: REFERENCIAS.....	44
ANEXO A: FIGURAS Y TABLAS	47
Anexo A.1.: Empresas productoras de plástico en el Ecuador	47
Anexo A.2.: Propiedades de las materias primas.....	48
ANEXO B: METODOLOGÍA	49
B.1. Selección del proceso	49
B.2. Diseño del proceso	50
B.3. Diseño de la planta	51
B.4. Balance de energía	64
B.5. Análisis económico	64
ANEXO C: RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	70
Anexo C.1.: Pérdidas de material determinadas para cada equipo de producción	70
Anexo C.2.: Balance de masa	70
Anexo C.3.: Resumen del dimensionamiento de cada equipo.....	71
ANEXO D: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO	81
D.1 Estimación de costos.....	81
D.2. Evaluación de rentabilidad del proyecto.....	88
D.3. Análisis de flexibilidad	90
ANEXO E: COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS	92
E.1. Cotización de la balsa de lavado L-01.....	92
E.2. Cotización de la troceadora TR-01	93
E.3. Cotización de la secadora S-01.....	94
E.4. Cotización del tanque de almacenamiento A-01	95
E.5. Cotización del molino M-01.....	96
E.6. Cotización del tamizador TA-01	97

E.7. Cotización de la mezcladora ME-01	98
E.8. Cotización de la peletizadora P-01	99
E.9. Cotización de las bandas transportadoras B-i.....	101
E.10. Cotización de los tornillos sin fin T-i.....	102

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Resumen del mercado ecuatoriano de plásticos según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [2].	17
Figura 2. Diagrama de bloques de la producción de bioplástico con glicerol.	20
Figura 3. Diagrama de bloques de la producción de bioplástico con polietileno de baja densidad.	22
Figura 4. Diagrama de bloques de la producción de bioplástico con ácido poliláctico y cáscaras de naranja.	23
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de producción de bioplástico con ácido poliláctico y cáscara de naranja.	29
Figura 6. Estudio de flexibilidad con respecto al precio de venta del bioplástico.	40
Figura 7. Empresas principales en la producción de plásticos en Ecuador [2].	47
Figura 8. Corrientes de entrada y de salida del secador.	52
Figura 9. Carta psicométrica del aire a presión normal [33].	53
Figura 10. Análisis de flexibilidad con respecto al caudal de CN frescas alimentadas.	90
Figura 11. Análisis de flexibilidad con respecto a la concentración de cáscaras de naranja.	91
Tabla 1. Características principales de los equipos seleccionados por catálogo	33
Tabla 2. Características principales de los equipos dimensionados.	33
Tabla 3. Consumo energético de los equipos seleccionados.	34
Tabla 4. Cálculo del costo ISBL de la planta de producción de bioplástico.	36
Tabla 5. Estimación de los costos totales del proyecto.	37
Tabla 6. Indicadores económicos de la rentabilidad del proyecto.	39
Tabla 7. Indicadores de rentabilidad usando precios de catálogo y el método factorial detallado.	39
Tabla 8. Indicadores económicos con nuevas variables de proceso.	41
Tabla 9. Propiedades de las materias primas principales en la producción de bioplásticos [3], [12], [15].	48
Tabla 10. Análisis semicuantitativo para la selección del proceso más adecuado	49
Tabla 11. Capacidad de transporte de un tornillo sin fin [33].	63

Tabla 12. Coeficientes de resistencia para tornillos sin fin [33].	63
Tabla 13. Pérdidas establecidas para cada equipo en el proceso de producción de bioplástico [33].	70
Tabla 14. Balance de masa del proceso de producción de bioplástico.	70
Tabla 15. Características principales del dimensionamiento de la balsa de lavado.	71
Tabla 16. Características principales del dimensionamiento de la troceadora.	72
Tabla 17. Características principales del dimensionamiento del secador (Parte 1).	73
Tabla 18. Características principales del dimensionamiento del secador (Parte 2).	74
Tabla 19. Características principales del dimensionamiento del tanque de almacenamiento.	75
Tabla 20. Características principales del dimensionamiento del molino.	76
Tabla 21. Características principales del dimensionamiento del tamizador.	77
Tabla 22. Características principales del dimensionamiento de la mezcladora.	77
Tabla 23. Características principales del dimensionamiento de la peletizadora.	78
Tabla 24. Dimensiones de las bandas transportadoras.	79
Tabla 25. Características principales del dimensionamiento de las bandas transportadoras.	79
Tabla 26. Características principales del dimensionamiento de los transportadores con tornillos sin fin.	80
Tabla 27. Estimación de costos de equipos por catálogo [13].	81
Tabla 28. Constantes para la estimación de costos de los equipos (Parte 1).	81
Tabla 29. Constantes para la estimación de costos de los equipos (Parte 2).	82
Tabla 30. Constantes para la estimación de costos de los equipos (Parte 3).	83
Tabla 31. Cálculo de los costos de los equipos usando metodología.	84
Tabla 32. Factores de instalación de la metodología propuesta por Hand [33].	85
Tabla 33. Factores de costo según el material utilizado [33].	85
Tabla 34. Factores para el método de estimación de costos factorial detallado [33].	86
Tabla 35. Resultados de la estimación de costos por el método de Lang, Hand y el factorial detallado.	87
Tabla 36. Cálculo del capital fijo del proyecto	88
Tabla 37. Cálculo de los costos del capital de trabajo.	88
Tabla 38. Flujo de caja del proyecto usando una depreciación lineal.	89
Tabla 39. Flujo de caja del proyecto usando la depreciación MACRS.	89

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Antecedentes de una planta de bioplásticos con sustitutos orgánicos.

Los plásticos son polímeros poco costosos, fácilmente maleables y duraderos. Por estas razones, son ampliamente utilizados en diversas industrias, como por ejemplo: empaques para alimentos, componentes electrónicos, aislantes térmicos, implantes en la medicina, etc. Se estima que, globalmente, se producen alrededor de 500 toneladas de plástico no biodegradable, de las cuales más de la mitad son dedicadas para un solo uso [1]. En el Ecuador existe también un mercado local de producción de plástico con ventas significativas que abarcan alrededor del 1,5% del PIB nacional [2]. Las mayores empresas del país se pueden observar en el anexo A.1. El uso excesivo de plásticos no biodegradables, especialmente aquellos de origen fósil, está directamente relacionado con la contaminación ambiental, producción de basura y un rápido agotamiento de recursos no renovables [3]. Debido a una creciente concientización del correcto manejo de desechos a causa del cambio climático, la demanda de productos como alternativa para plásticos convencionales ha aumentado rápidamente en los últimos años [4].

Una de las propuestas más investigadas en los últimos años es el uso de diferentes tipos de bioplásticos, ya que se demoran menos tiempo en descomponer. Generalmente los biopolímeros incluyen materia orgánica en su manufactura, lo cual aumenta su grado de biodegradabilidad; sin embargo, también existen biopolímeros de origen sintético que se caracterizan por un corto tiempo de degradación [5]. La materia prima principal en muchos de estos procesos de producción incluye biomasa proveniente de la agricultura [6]. Es importante diferenciar entre biomasa de primera generación y de segunda generación, pues el uso exclusivo de cultivos agrícolas para la producción de bioplásticos entra en directa competencia con el mercado de alimentos, despertando preocupaciones éticas [7]. Otro desafío importante que se presenta en la industria de bioplásticos

implica las propiedades mecánicas de los productos. Normalmente, el sustituir materia orgánica en compuestos sintéticos genera problemas de falta de homogeneidad en la mezcla, deteriorando así características mecánicas como tensiones máximas permitidas, maleabilidad, resistencias térmicas, entre otras [8]. Por esta razón, es importante evaluar correctamente las formulaciones utilizadas en el proceso de manufactura de bioplásticos para cumplir con los requisitos mecánicos necesarios.

Existen formulaciones con diferentes tipos de materia orgánica utilizados. Dentro de estos, la cáscara de naranja (CN) representa un candidato oportuno como material de relleno en biopolímeros. Las naranjas (*Citrus sinensis*) son utilizadas principalmente para la producción de jugos naturales representando una cantidad anual aproximada de 74 millones de toneladas métricas a nivel global y alrededor de 140 mil toneladas métricas en el Ecuador [9]. Dependiendo de la eficiencia del proceso, alrededor del 70% de esta masa termina como residuo orgánico [10]. El correcto manejo de estos residuos tiene varias complicaciones, ya que al desechar las cáscaras de naranja en rellenos sanitarios, existen altos riesgos de erosión en el suelo debido al bajo pH de las cáscaras [3]. Es aquí donde se presenta una oportunidad de aprovechamiento debido a que estas cáscaras están principalmente compuestas por pectinas y fibras de celulosa [11]. La pectina es un polisacárido con propiedades gelificantes, mientras que la celulosa aporta con estabilidad estructural, indicando así que la cáscara de naranja es un candidato viable como sustituto orgánico en bioplásticos [12].

Con base en a los antecedentes presentados, se plantea un proyecto de producción de bioplástico en el Ecuador usando cáscaras de naranja de segunda generación como sustituto orgánico. Esta idea surge también del acercamiento de una empresa local productora de jugos de naranja con la intención de implementar técnicas de economía circular en sus líneas de producción.

Para lograr esto, se investigaron primero las diferentes formulaciones de bioplásticos y se determinó la mejor opción, considerando sobre todo la escalabilidad del proceso a nivel industrial. A continuación, se diseñaron los equipos requeridos para el proceso a partir de una base de cálculo predeterminada y finalmente, se realizó un análisis económico para la evaluación del proyecto. Se escogió la presentación de pellet con cinco milímetros de diámetro como producto final. Esta presentación brinda cierta versatilidad para una posterior aplicación en otros productos tales como envases, empaques, bandejas, cubiertos, entre otros. Los pellets son almacenados en sacos de 25kg, siendo este el estándar del mercado [13].

Objetivos del proyecto

1.1.1. Objetivo general

Evaluar la prefactibilidad técnico-económica de la producción de bioplástico en el Ecuador usando desecho de cáscara de naranja.

1.1.2. Objetivos específicos

- i) Definir un proceso para la producción del bioplástico que sea escalable a nivel industrial.
- ii) Diseñar una planta modelo usando una base de cálculo predeterminada.
- iii) Realizar un análisis económico y de flexibilidad para examinar la rentabilidad del proyecto.

Justificación de una planta de producción de bioplásticos en el Ecuador

Existe una gran necesidad de disminuir el uso de plásticos convencionales y de buscar nuevas alternativas amigables con el medio ambiente. De igual forma, se observa una tendencia a nivel global de aprovechar la mayor cantidad de productos secundarios para fomentar una cultura de economía circular [14]. Esto no solo garantiza un mayor nivel de sostenibilidad ambiental y social,

pero también ayuda a descubrir nuevas oportunidades de mercado para nuevas fuentes de ingresos económicos. Por esta razón, una empresa local de alimentos inició el contacto con investigadores de la Universidad San Francisco de Quito en busca de un proceso para la producción de bioplástico usando los desechos de naranja que se generan diariamente. Este proyecto está alineado con las circunstancias y condiciones presentadas por dicha empresa. El mayor impacto que se presenta en el diseño del proyecto tiene que ver con la adquisición de las cáscaras de naranja, puesto que al ser un producto secundario de su propia industria, sólo se considera el precio del transporte la biomasa, mas no su precio de adquisición.

Las formulaciones más comunes de bioplásticos con cáscara de naranja incluyen otras materias primas principales como el glicerol, el polietileno y el ácido poliláctico [3], [11], [15]. Esto representa una ventaja, debido que, al igual que las cáscaras de naranja, estos compuestos representan materias primas con costos de adquisición relativamente bajos [13]. Un análisis económico preliminar anexo A.2, donde se consideran solo los costos de las materias primas y el precio de venta del producto con un margen de ganancia bruto del 20% y del 40% determina que el proyecto tiene potencial de ser rentable. En el mercado local no existe una oferta significativa de bioplásticos con sustitutos orgánicos, pues la mayoría son de origen sintético. Comparando el precio preliminar de venta con los precios del mercado disponibles, se observa que el producto aquí planteado puede ser competitivo frente a las alternativas.

El proyecto presentado ofrece por lo tanto una alternativa para el manejo de residuos orgánicos, ya que el correcto desecho de cáscaras de naranja es largo, costoso, y, si no se lo realiza apropiadamente, puede tener impactos ambientales adversos. Los bioplásticos representan por lo tanto una opción sustentable que cada vez recibe más incentivos para su implementación por parte del gobierno del Ecuador [16]. También por esta razón se espera que en un futuro cercano se

implementen cada vez más plantas de producción de bioplásticos en el país y este proyecto se suma a las fuentes de información técnicas que servirán como fundamento teórico para diseñadores.

Resultados esperados de la implementación del proyecto

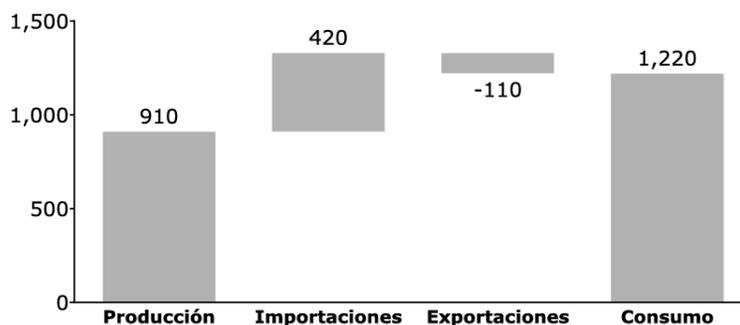
Al cumplir con los objetivos planteados, se espera un impacto ambiental positivo. Por una parte se observa una creciente demanda de alternativas a plásticos de origen fósil, sobre todo en el área de empaques de alimentos cuya función suele limitarse a un solo uso. Al ofrecer un producto con las propiedades mecánicas necesarias a un precio competitivo, se proyecta una disminución paulatina del uso de plásticos convencionales. También se espera que la diversificación de estos productos ayude a generar una mayor conciencia en la población sobre las ventajas de usar productos biodegradables y sobre el correcto manejo de desechos no perecibles.

De esta forma, el proyecto se encuentra alineado con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas en el 2015 [17]. La manufactura de bioplásticos promueve comunidades y ecosistemas sostenibles, ayudando así a combatir los efectos de la acumulación de desechos no perecibles y, en consecuencia, el cambio climático.

Si bien es cierto, en países desarrollados ya existen muchas industrias desarrolladas que producen bioplástico; sin embargo, la mayor cantidad de plástico consumido en el Ecuador se produce localmente (figura 1) [9]. Este proyecto se enfoca en el desarrollo de una planta adaptada al mercado y a los desafíos específicos que se presentan en el país. Se espera por lo tanto que este estudio de prefactibilidad ayude a un mejor entendimiento técnico-económico en la producción de bioplástico local.

RESUMEN DEL MERCADO ECUATORIANO

Mercado de plásticos en Ecuador
(en U\$M - 2013)



% Consumo	75%	35%	9%	-
CAGR (09-13)	2%	17%	17%	5%

Figura 1. Resumen del mercado ecuatoriano de plásticos según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [2].

Al tratarse de un proyecto de escala industrial con un nivel alto de complejidad, se requiere de un equipo multidisciplinario, tanto para su implementación como para su operación. Esto implica una colaboración estrecha tanto de mano de obra operacional, como de técnicos calificados encargados de la supervisión. De esta forma se espera también que la implementación del proyecto ayude a generar una gran variedad de plazas de trabajo que ayudarán a impulsar la economía y los estándares sociales de la comunidad cercana a la ubicación de la planta de bioplásticos.

CAPÍTULO 2: BASES DE DISEÑO

2.1. Descripción de materias primas comunes en la industria de bioplásticos

El método más simple para la elaboración de bioplástico con cáscaras de naranja incluye al glicerol como materia prima. El glicerol, también conocido como glicerina, es un compuesto orgánico con tres grupos funcionales hidroxilos, clasificando así a este compuesto dentro del grupo de los alcoholes. Este compuesto actúa como plastificante en la mezcla con cáscara de naranja y ayuda a mejorar las fuerzas intermoleculares del bioplástico [15]. El glicerol se encuentra en varios procedimientos metabólicos de los seres vivos, siendo un principal componente en el ciclo de Krebs, proceso involucrado en la generación y consumo de energía [18]. Este compuesto tiene también diversas funciones en diferentes industrias como por ejemplo: en la producción de jabones y cosméticos, en la industria farmacológica como excipiente y antiséptico, en la industria militar para la fabricación de explosivos como la nitroglicerina, etc. La glicerina tiene una apariencia incolora, con una densidad de $1261 \frac{kg}{m^3}$, una masa molar de $92,09 \frac{g}{mol}$ y un punto de ebullición de $290 ^\circ C$ [15].

En la literatura también se encuentran formulaciones de bioplásticos con sustitutos orgánicos usando polietileno de baja densidad (LDPE) como materia prima [12]. El LDPE es uno de los plásticos más utilizados a nivel global con una producción anual de 3.500 toneladas métricas exclusivamente en los Estados Unidos [19]. Este termoplástico fue sintetizado por primera vez en 1933 usando la polimerización por radicales libres logrando cadenas de átomos ramificadas otorgando al material una baja densidad. La densidad del LDPE es $930 \frac{kg}{m^3}$ y además pierde su estabilidad térmica a temperaturas superiores a $90^\circ C$. Existen algunos experimentos a escala de laboratorio que sustituyen cierta cantidad de LDPE con polvo de cáscara de naranja; no obstante,

la pobre estabilidad térmica de este plástico genera complicaciones al momento de escalar el proceso [20]. Es importante mencionar que este plástico, el cual comúnmente se utiliza en fundas de plástico convencionales, tiene un tiempo aproximado de degradación a la intemperie de más de 500 años [21].

El ácido poliláctico (PLA) es un polímero de la categoría poliéster que se produce a partir del proceso de polimerización de condensación del ácido láctico. Este biopolímero sintético ha ganado popularidad en la industria de plásticos en los últimos años debido a su alta biodegradabilidad y a su capacidad de lograr propiedades mecánicas satisfactorias para las diversas aplicaciones comunes de un plástico convencional. El PLA se degrada en un periodo promedio de treinta semanas cuando está expuesto a agua. Esto se debe a que el PLA tiene propiedades semipermeables frente a las moléculas de oxígeno, el cual reacciona con el material y lo descompone. La biodegradabilidad de este bioplástico puede ser ajustada cambiando la relación entre el área de contacto y el volumen del material. La densidad del PLA es $1430 \frac{kg}{m^3}$ con una temperatura de fusión de $160 \text{ }^{\circ}C$ y un peso molecular de aproximadamente $16000 \frac{g}{mol}$ [22]. El PLA también ofrece una buena barrera frente a olores y aromas, siendo un material biológicamente inerte [23]. Debido a todas estas razones, también se ha estudiado la posibilidad de utilizar PLA para la producción de bioplástico con naranja [3].

La cáscara de la naranja (CN), residuo de la producción de jugos naturales, es la materia prima orgánica que se seleccionó para el presente proyecto. Las cáscaras de naranja están compuestas principalmente por pectinas, celulosa, hemicelulosa, almidón, flavonoides y otros compuestos secundarios [3]. Como se mencionó previamente, se ha demostrado que algunos de estos compuestos ayudan a aumentar la biodegradabilidad de los plásticos que sustituyen, así como

a mejorar ciertas propiedades mecánicas como la flexibilidad. Es importante considerar que al tratarse de una fruta cítrica, la cáscara de naranja también tiene un alto contenido de agua, alrededor del 80% en masa [11]. Esto representa un inconveniente en el proceso de manufactura, ya que el agua limita la homogeneidad del producto final, resultando en propiedades mecánicas no deseadas. La densidad de la cáscara de naranja húmeda es $900 \frac{kg}{m^3}$, mientras que su densidad con un 10% de humedad restante es aproximadamente $600 \frac{kg}{m^3}$ [24].

En el anexo A.2 se encuentran las propiedades de las materias primas mencionadas con mayor detalle.

2.2. Procesos para la producción de bioplástico con cáscara de naranja como sustituto.

2.2.1. Biopolímeros a base de glicerol

El proceso de producción de un bioplástico a base de glicerol consiste primero en refrigerar las cáscaras a $15^{\circ}C$ y después pulverizarlas en un molino. Después, se secan las cáscaras en un horno a $120^{\circ}C$ por diez minutos. Luego se añade ácido clorhídrico para controlar el pH y se mezcla el glicerol con las cáscaras de naranja secas en la relación deseada. Finalmente, se añade agua destilada a la mezcla hasta obtener una pasta moldeable, la cual se deja secar a temperatura ambiente por alrededor de 48 horas. Este proceso se puede observar en la figura 2 [15].

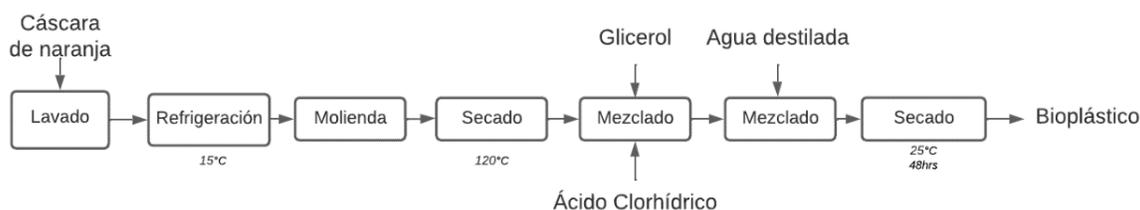


Figura 2. Diagrama de bloques de la producción de bioplástico con glicerol.

Los análisis de caracterización que se realizaron a escala de laboratorio de este tipo de bioplástico indican que a mayores concentraciones de cáscara de naranja, la biodegradabilidad del bioplástico aumenta. También se observa diferentes etapas de degradación térmica, siendo la primera a los 150 °C debido a la evaporación del agua. Las propiedades mecánicas de este producto son inferiores a otros competidores, obteniendo un esfuerzo máximo de tensión de 7,38 MPa y un módulo de Young de 25,33 MPa [11], [15]. Una de las complicaciones más grandes que se enfrenta esta formulación es su escalabilidad. Al utilizar un extrusor para el peletizado, el glicerol deja de actuar como agente plastificante a altas presiones y temperaturas, creando problemas en el producto final [12].

2.2.2. Biopolímeros a base de polietileno de baja densidad

Otro proceso recurrente incluye la incorporación de cáscara de naranja en una matriz de polietileno de baja densidad (LDPE). El LDPE es un mejor candidato en cuanto a la escalabilidad del proceso [20]. Una de las formulaciones que se encuentra en la literatura consiste en secar las cáscaras en un horno a 82 °C por diez minutos. Las estas se liofilizan por 72 horas para después pasar a un molino, obteniendo un polvo fino. A continuación, se utiliza un tamizador para la separación de partículas. El polvo de cáscara se almacena en un disecador para mantener bajos niveles de humedad. Finalmente, se utiliza un extrusor con una proporción entre el largo y diámetro de los tornillos de 48:1 a una velocidad de 100 RPM. La extrusión se lo realiza a 135 °C donde se añade paulatinamente el polvo de cáscara de naranja [12]. Las operaciones unitarias de este proceso se encuentran en la figura 3.

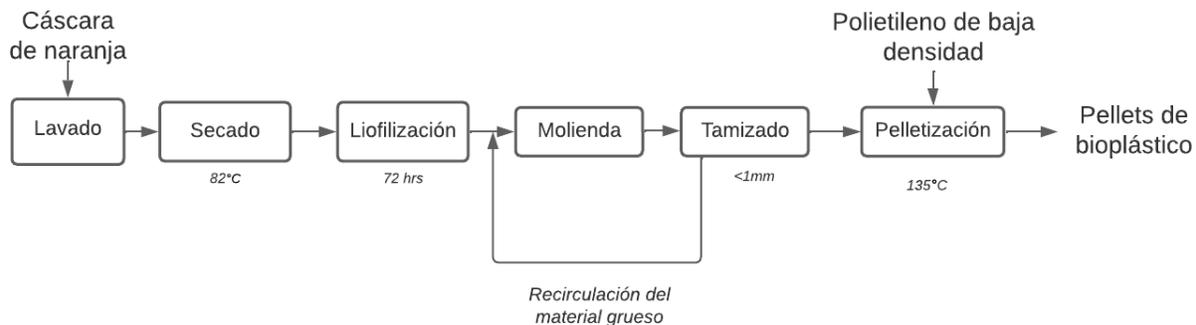


Figura 3. Diagrama de bloques de la producción de bioplástico con polietileno de baja densidad.

El contenido óptimo de cáscara de naranja en LDPE es alrededor del 8% en peso. Debido al bajo índice de biodegradabilidad del LDPE y a la pequeña cantidad de materia orgánica sustituida, la biodegradabilidad del bioplástico con LDPE se mantiene casi similar a polímero sintético puro. Se observó también una disminución considerable, tanto del esfuerzo máximo de tensión, como del módulo de Young a mayores concentraciones de cáscara de naranja [25]. Se identificó, por otro lado, un cambio de color del producto a mayores concentraciones debido a los componentes carotenoides de la naranja [12].

2.2.3. Biopolímeros a base de ácido poliláctico

Los métodos de elaboración de bioplástico usando ácido poliláctico tienen varias ventajas. Por un lado, se ha demostrado un aumento en la biodegradabilidad del producto manteniendo sus propiedades de biocompatibilidad. Similar al proceso con LDPE, se requiere de un pretratamiento de las cáscaras de naranja que incluye un secado a 55 °C por diez horas con el objetivo de reducir la concentración de agua en las cáscaras de un 80% a un 10% en peso. Luego se emplea una disminución de tamaño de partícula usando un molino. Después se separan las partículas con un diámetro promedio menor a dos milímetros usando un tamizador. A continuación se incorpora el ácido poliláctico usando una mezcladora y finalmente el producto pasa a un proceso de extrusión

para concluir en un pellet de cinco milímetros de diámetro. El proceso con sus operaciones unitarias básicas se encuentra disponible en la siguiente figura [3].

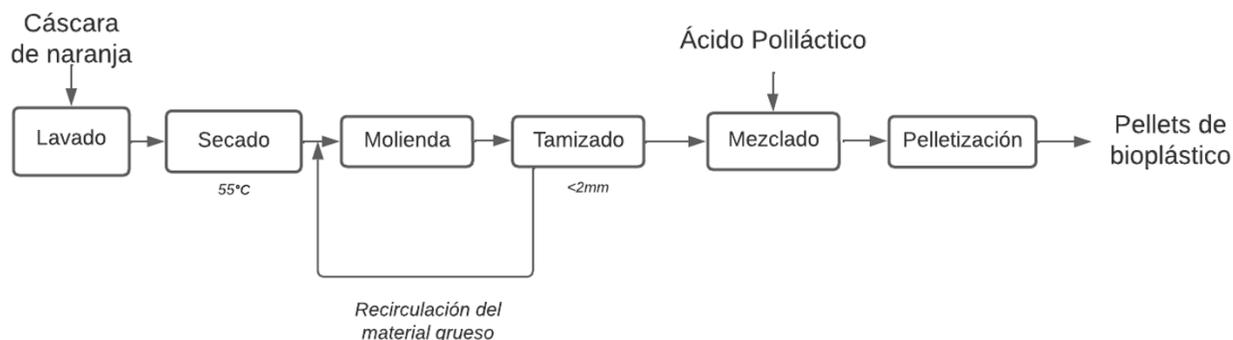


Figura 4. Diagrama de bloques de la producción de bioplástico con ácido poliláctico y cáscaras de naranja.

Los estudios con respecto a la caracterización de las muestras de bioplástico con diferentes cargas de polvo de naranja brindan resultados interesantes. Al igual que en el procedimiento con LDPE, se observa una disminución de las propiedades mecánicas del producto al aumentar la cantidad de PLA sustituido por polvo de cáscaras de naranja; sin embargo, estas no se ven tan afectadas como en el caso del LDPE y por tanto se determinó que se podía sustituir hasta un máximo del 20% en peso de la matriz de PLA. Esto implica una mayor cantidad de residuos orgánicos que se pueden procesar en menor cantidad de tiempo. La flexibilidad del bioplástico obtiene su máximo al 20% de carga de cáscara de naranja, logrando un producto dúctil y difícil de quebrar [26]. Por otro lado, la biodegradabilidad del material también mejora significativamente con el aumento de cáscara de naranja debido a la alta concentración de celulosa de esta biomasa. Finalmente, este proceso es escalable gracias a que el ácido poliláctico es un biopolímero relativamente fácil de extruir y no se descompone a temperaturas y presiones relativamente bajas [23].

2.3. Limitaciones presentes en el proyecto

Al tratarse de un proyecto en colaboración con una empresa local de producción de jugos, la materia prima orgánica se convierte en la principal limitación del proceso. Esta limitación de carácter interna se debe a que las cáscaras de naranja son generadas como desecho secundario de la fabricación de jugos naturales y están sujetas a la producción diaria de este alimento. Esto significa que en caso de que exista una escasez de cáscara de naranja, se tendrá que buscar otros proveedores externos, elevando así el costo de producción. Otra limitación relacionada con el abastecimiento de esta materia prima es la ubicación de la planta. La ubicación seleccionada para la planta de producción de bioplástico tiene que ser cercana al centro de distribución de la empresa local para minimizar el costo del transporte. Por esta razón la planta debería ubicarse idealmente en los alrededores del área industrial de Amaguaña en el cantón Quito.

Otra limitante interna tiene que ver con la cantidad de cáscara de naranja que se puede implementar en las formulaciones presentadas. Como se mencionó previamente, estos valores son de un 8% y 20% en masa para el polietileno de baja densidad y para el ácido poliláctico respectivamente [3], [12]. Diferentes concentraciones resultan en productos con características variables; no obstante, el tipo de uso dado el producto final determinará las propiedades mecánicas necesarias para el bioplástico obtenido. En el caso de la formulación con glicerol, el componente principal es la cáscara de naranja; sin embargo, esto conlleva grandes inconvenientes en el escalamiento del proceso. Es importante realizar un estudio de flexibilidad para la concentración de la cáscara de naranja para determinar su correlación con el diseño del proyecto.

También existen limitaciones externas como varios controles de calidad del producto y normas establecidas por entidades regulatorias para una operación y construcción segura de la

planta. La mayoría de formulaciones no contienen químicos o reacciones peligrosas; sin embargo, un buen manejo de los materiales es esencial para evitar multas por falta de cumplimiento. Las normas básicas que aplican para este tipo de proyectos incluyen pero no se limitan a: la constitución de la república del Ecuador [27], estándares de calidad ISO 9001 [28], el transporte y almacenamiento adecuado de compuestos peligrosos INEN 2266 [29], normativa INEN 2883 en caso de que el bioplástico sea utilizado en empaques para alimentos [30], el código orgánico del ambiente junto con permisos de funcionamiento como la patente municipal, el permiso del cuerpo de bomberos y el permiso del uso del suelo.

2.4. Terminología especializada

- **Ácido poliláctico:** Se trata de un polímero sintetizado a partir del ácido láctico, el cual se caracteriza por su relativa biodegradabilidad. Su abreviación es PLA por sus siglas en inglés [31].
- **Biodegradabilidad:** Es un tipo de caracterización de un material para determinar el tiempo que se demora en descomponer en condiciones normales [11].
- **Bioplástico/biopolímero:** Son polímeros derivados de productos orgánicos; sin embargo, también incluyen plásticos biocompatibles que se utilizan en la medicina e incluso algunos plásticos sintéticos especialmente biodegradables [7].
- **Caracterización:** Se trata de los resultados de diferentes métodos para determinar las propiedades físicas y químicas de diferentes materiales [22].
- **Extrusión:** Se trata de un proceso donde se transforman usualmente pellets de compuestos sintéticos en láminas, tuberías o botellas, usando gradientes de temperatura y presión [12].

- Pellet: Se denomina pellet en la industria del anglicismo pellet e implica un material formado por cilindros o esferas de pocos milímetros de tamaño. Estos pueden ser de varios materiales sintéticos o naturales dependiendo de su uso [12].
- Biomasa de primera generación: Material orgánico cultivado con el único propósito de ser utilizado en otras industrias como la de bioplásticos o biocombustibles [32].
- Biomasa de segunda generación: Materia orgánica obtenido como desecho la industria agrícola u algún otro proceso de producción [32].
- Propiedad gelificante: Una sustancia con propiedades gelificantes permite la incorporación de sólidos en líquidos manteniendo propiedades mecánicas estables [15].

CAPÍTULO 3: DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOPLÁSTICO

3.1. Selección del proceso de producción

En el capítulo anterior se discutieron tres diferentes procedimientos para la producción de bioplástico. La metodología utilizada para la selección y diseño del proceso se encuentra en el anexo B. Los diferentes criterios utilizados en la matriz de decisiones en el anexo B.1 resultaron en una evaluación semicuantitativa que sirvió de apoyo en la toma de decisión. Se concluyó de esta forma que el proceso con ácido poliláctico es el más adecuado para la producción de bioplástico con cáscaras de naranja en el Ecuador.

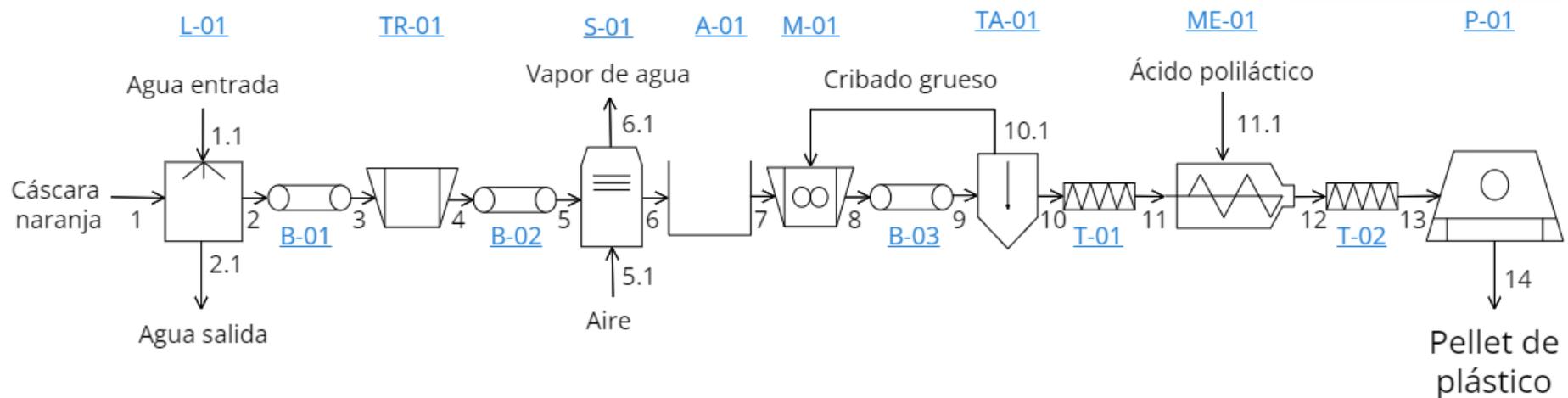
En base a los datos obtenidos por la empresa de jugos naturales local, se determinó una disponibilidad diaria de cáscaras de naranja de una tonelada. Este valor es el limitante principal del caudal de producción y es utilizado entonces como base de cálculo. Dentro de las formulaciones encontradas para la producción con PLA se determinó que la cantidad óptima para sustituir PLA con cáscaras de naranja es alrededor del 20% en peso [3]. Usando estos datos, se continuó con el diseño de un proceso apropiado.

3.2. Descripción del proceso seleccionado

El diseño del proceso se encuentra representado en la figura 5 en forma de un diagrama de flujos. Primero se seleccionó una balsa de lavado para remover impurezas (L-01); luego, el material es transportado hacia una troceadora (TR-01) que disminuye el tamaño de las cáscaras de naranja en preparación de la molienda; sin embargo, primero se introducen las cáscaras en un horno de bandejas (S-01) a $55^{\circ}C$ por diez horas disminuyendo la cantidad agua en un 70%. Debido a que el tiempo de secado impide la implementación de un proceso completamente continuo, las cáscaras son almacenadas en un tanque (A-01), garantizando una disponibilidad continua para el

resto del proceso. A continuación se encuentra la segunda parte del proceso de producción. Es aquí donde la cáscara de naranja seca que se encuentra almacenada en el tanque es transportada al molino (M-01) para su posterior clasificación por medio de un tamiz con vibración (TA-01). El material grueso que no pasa por las aperturas de dos milímetros del tamiz son recirculadas al proceso de molienda, aumentando así la eficiencia del material en el proceso. Después que se haya obtenido el polvo de cáscaras con la humedad y el tamaño de partícula deseados, estas son transportadas a una mezcladora dinámica (ME-01) operando con una velocidad de tornillo de 50 RPM. Finalmente, la mezcla es trasladada a una peletizadora (P-01) que termina el proceso de manufactura de pellets de bioplástico. La peletizadora opera a 200°C y 100 RPM [3], [33].

Ya que la mayoría de los procesos realizados incluyen cambios físicos y no químicos, el balance de masa depende de la ley de conservación de la materia sin reacción. Las corrientes de alimentación principales son las cáscaras húmedas y el PLA. Existen dos corrientes secundarias en el diseño; la primera es el agua utilizada para el lavado y la segunda proviene del proceso de secado, donde aire seco es utilizado para remover la humedad de las cáscaras. En el balance de masa también se tiene que considerar la corriente de recirculación. Finalmente, se establecieron las pérdidas de material típicas de cada equipo [33], las mismas que se indican en el anexo C.1. El balance de masa correspondiente se puede observar más en detalle en el anexo C.2. Se concluye entonces que el caudal de producción es de alrededor de $1,29 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$ o $161,87 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ si se considera un día laboral de ocho horas.



Equipo	Código	Equipo	Código
Balsa de Lavado	L-01	Mezcladora	ME-01
Troceadora	TR-01	Pelletizadora	P-01
Secador	S-01	Banda transportadora	B-01, B-02, B-03
Tanque de almacenamiento	A-01	Transporte con tornillo sin fin	T-01, T-02
Molino	M-01		
Tamizador	TA-01		

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de producción de bioplástico con ácido poliláctico y cáscara de naranja.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICO USANDO PLA Y CÁSCARAS DE NARANJA

4.1. Selección de equipos

Con las operaciones unitarias y sus condiciones definidas, se seleccionaron los equipos siguiendo la metodología en el anexo B.1. Uno de los objetivos del proyecto es diseñar un proceso con altas capacidades de producción y para esto se necesita que, donde sea factible, los equipos estén conectados de manera continua. Para cumplir con este objetivo se implementaron tanto bandas de transporte (B-i), como transportadores con tornillos sin fin (T-i) para el traslado de material entre cada equipo. El secado de las cáscaras de naranja (S-01) requiere de un tiempo de espera mínimo, razón por la cual el diseño del proceso se divide en dos secciones. La primera sección consiste en un pretratamiento de las cáscaras de naranja concluyendo con un proceso de secado (L-01 a A-01). La segunda sección comienza con la molienda de las cáscaras secas para luego incorporar el ácido poliláctico en una mezcla, finalizando con la producción de pellets de bioplástico (M-01 a P-01).

4.1.1. Equipos usados en la primera etapa de producción

El primer equipo del proceso tiene la función de retirar impurezas y posibles contaminantes que se encuentren en las cáscaras de naranja. Para realizar esta tarea se utiliza una balsa de lavado para vegetales de banda continua (L-01). La lavadora utiliza un motor para impulsar un caudal de agua para la limpieza a través de aspersores y también hay un ingreso de aire para generar burbujas, aumentando la eficiencia de la limpieza. Este equipo tiene un sistema de filtración y recirculación de agua de lavado. Se estima un consumo de diez kilogramos por hora de agua. Por otro lado,

material más común para trabajar con materia orgánica es el acero inoxidable 304, el mismo que fue seleccionado para este equipo.

El siguiente paso consiste en disminuir el tamaño de las cáscaras de naranja con el fin de facilitar el proceso de secado aumentando el área superficial de las cáscaras. Este troceado preliminar también agiliza la molienda (M-01) de la segunda sección. Para esto se seleccionó una troceadora de vegetales que utiliza un motor para impulsar cuchillas giratorias a altas velocidades.

Concluyendo con la primera sección del proceso, las cáscaras de naranja se colocan en bandejas para ser llevadas a un horno (S-01) que reduce la humedad de las cáscaras de aproximadamente 80% de agua en peso a un 10% [15]. El secado tiene una duración de diez horas a una temperatura de 55°C [3]. Las cáscaras son luego trasladadas al tanque de almacenamiento (A-01) para su uso al siguiente día en la segunda sección del proceso. De esta forma se consigue diseñar un proceso semicontinuo a destiempo, donde las cáscaras de alimentación para la segunda sección son pretratadas el día anterior.

4.1.2. Equipos usados en la segunda etapa de producción

La segunda sección consiste primero en la molienda de las cáscaras ya secas. Este paso es muy importante, pues el tamaño de partícula del polvo de naranja tiene que ser menor a dos milímetros para garantizar un bioplástico con propiedades mecánicas satisfactorias [3]. El molino (M-01) disminuye el tamaño de partícula usando fricción y presión mecánica. Ya que las cáscaras de naranja no tienen propiedades abrasivas altas, se selecciona acero inoxidable 304 como material.

Se continúa con la separación de tamaño de las partículas de polvo de naranja con ayuda de un tamizador horizontal de flujo continuo (TA-01). El equipo utiliza vibraciones mecánicas

generadas por su motor para aumentar la eficiencia del tamizado. La apertura de las mallas tiene que ser igual o menor a dos milímetros. De esta forma el caudal de entrada se separa en lo que se conoce como cribado grueso y cribado fino. El cribado grueso, con tamaño de partícula superior a dos milímetros, es recirculado al proceso de molienda. El equipo se encuentra suspendido en un sistema de amortiguación para fijarlo al suelo durante las vibraciones.

El siguiente paso consiste en incorporar el ácido poliláctico (PLA) al polvo fino de cáscara de naranja obtenido. Esto se logra con ayuda de una mezcladora (ME-01) de doble tornillo a 180°C bajo presión atmosférica. A nivel de laboratorio se ha utilizado un mezclador dinámico (*Brabender 350S*) que mezcla y extruye la cáscara de naranja con el PLA en un solo paso; sin embargo, este equipo tiene una capacidad de procesamiento limitada que no la hace apta para escalas de producción más grandes. Las funciones del *Brabender 350S* se separaron en dos procesos: ME-01 & P-01.

La producción de bioplástico con cáscara de naranja concluye con el peletizado (P-01). Este procedimiento consiste en la extrusión del material utilizando tornillos sin fin. Es necesario elevar la temperatura a 200°C , superando la temperatura de fusión del PLA, para producir pellets de bioplástico de cinco centímetros de diámetro [3]. La velocidad del tornillo de extrusión es de 100 RPM . Al finalizar, los pellets de bioplástico son pesados y almacenados en sacos de 25 kg para su venta.

4.2. Dimensionamiento de los equipos

Para el diseño de los equipos se utilizó una combinación de datos obtenidos a partir de catálogos de compra y valores calculados con metodología establecida para el dimensionamiento de equipos industriales, el cual se encuentra en el anexo B.3.

4.2.1. Dimensionamiento por catálogo

Los equipos que se seleccionaron a partir de su capacidad de procesamiento y tamaño se encuentran en la tabla 1 [13].

Tabla 1. Características principales de los equipos seleccionados por catálogo

Equipo	Modelo	Capacidad $\left[\frac{kg}{h}\right]$	Potencia $[kW]$	Dimensiones			Peso $[kg]$	Material
				Altura $[m]$	Largo $[m]$	Ancho $[m]$		
Balsa de lavado (L-01)	QX-400	200	4,00	1,40	4,00	1,50	400	Acero inoxidable 304
Troceadora (T-01)	ACMQ200	200	0,75	1,10	0,75	0,50	120	Acero inoxidable con color
Tamiz (TA-01)	SYZ-530	150	1,50	0,80	4,00	1,00	600	Acero inoxidable 304
Mezclador (ME-01)	ST-05	300	4,00	1,13	2,32	0,73	900	Acero inoxidable 304
Bandas de transporte (B-i)	ZT-i	200	3,00	0,50	10,00	0,50	100	Acero inoxidable y caucho

4.2.2. Dimensionamiento por metodología

Para los siguientes equipos se utilizaron diversas metodologías de dimensionamiento utilizadas en la ingeniería [33]. La siguiente tabla presenta los resultados más importantes.

Tabla 2. Características principales de los equipos dimensionados.

Equipo	Modelo	Capacidad $\left[\frac{kg}{h}\right]$	Potencia $[kW]$		Dimensiones			Peso $[kg]$	Material
			Catálogo	Teórica	Altura $[m]$	Largo $[m]$	Ancho $[m]$		
Secador (S-01)	NOM-C-5	25	60,00	33,20	2,35	4,80	2,20	2000	Acero inoxidable 304
Tanque (A-01)	500L	70	-	-	1,00	0,60	0,60	50	Acero inoxidable 304
Molino (M-01)	LH-FC37	450	7,50	61,36	2,35	2,10	0,12	200	Acero inoxidable 304
Peletizador (P-01)	SJSL-63A	250	55,00	-	2,00	0,50	0,50	600	Acero inoxidable 304
Transportadores con tornillos sin fin (T-i)	GX-150	200	6,00	2,60	0,30	10,20	0,30	100	Acero inoxidable 304

* Para mayor detalle técnico sobre los equipos seleccionados, dirigirse al anexo C.3.

4.3. Consumo energético de los equipos

La energía que cada equipo necesita para operar se encuentra en las especificaciones de los catálogos y en algunos casos se pueden estimar usando metodologías de diseño. Se observó que el consumo energético calculado y aquel obtenido por medio de catálogos se asemejaba, razón por la cual se utilizó un promedio aritmético para obtener una estimación final. En el anexo 7.4 se describe la metodología utilizada para los siguientes resultados.

Tabla 3. Consumo energético de los equipos seleccionados.

Equipo	Potencia [kW]
Balsa de Lavado (L-01)	4,00
Troceadora (TR-01)	0,75
Secador (S-01)	46,50
Molino (M-01)	34,25
Tamiz (TA-01)	1,50
Mezcladora (ME-01)	4,00
Pelletizadora (P-01)	55,00
Bandas transportadoras (B-i)	3,00
Transportadores de tornillo sin fin (T-i)	4,30
Total [kW]	153

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE FLEXIBILIDAD DEL PROYECTO

5.1 Estimación de costos

La estimación de costos del proyecto es un elemento de gran valor para el estudio de prefactibilidad porque permite realizar un análisis a detalle de indicadores económicos como la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN). Estos y otros indicadores son un sustento para determinar si la planta diseñada es factible en el Ecuador con las condiciones seleccionadas. La metodología utilizada durante este capítulo se encuentra en mayor detalle en el anexo B.5.

5.1.1. Estimación de costos de los equipos

En primer lugar, es necesario determinar el verdadero costo de cada equipo. La primera estimación del costo se la puede realizar comparando catálogos de venta que especifiquen un precio aproximado para las especificaciones que se requieren. A este precio se le aumenta un 40% para considerar costos de importación y transporte. Los resultados de esta primera estimación se encuentran en la tabla 27 del anexo D.1.

Utilizando la metodología mencionada en el anexo B.5. se determinaron los costos teóricos de cada uno de los equipos basándose en diferentes condiciones de operación como referencia [33]. Una vez obtenidos los costos teóricos, se analizaron las diferencias presentadas y se determinaron costos adecuados para cada equipo. Con estos costos se aplicaron tres metodologías de estimación para los costos de instalación que incluyen el método de Lang, Hand y el factorial detallado. A partir de estos valores se determinó el costo ISBL (inside battery limit), como se observa en la tabla 4. Este costo representa tanto el precio de los equipos como todo el costo

adicional que proviene de su instalación en la planta. Los factores utilizados se detallan en el capítulo de metodología [33].

Tabla 4. Cálculo del costo ISBL de la planta de producción de bioplástico.

Descripción	Valor [USD]
Costo ISBL de acuerdo a Lang	\$ 144.300
Costo ISBL de acuerdo a Hand	\$ 185.109
Costo ISBL de acuerdo al método factorial detallado	\$ 115.345
Promedio de los costos ISBL	\$ 148.251

5.1.2. Estimación de capital fijo y capital de trabajo

Una vez obtenidos los costos de los equipos junto con el precio de su instalación, se precede a determinar la inversión inicial de capital. Los costos de capital fijo incluyen principalmente los costos de los equipos, pero considera también costos de diseño, ingeniería y construcción. A esto se le suma el capital de trabajo que incluye otras consideraciones, las cuales se encuentran en mayor detalle en el anexo D.2. El costo total de la inversión inicial del proyecto es de \$504.780,00 como se muestra en la tabla 5.

5.1.3. Estimación de costos de producción

El costo de producción de la planta se divide en costos variables y costos fijos de producción. Los costos variables dependen directamente del caudal de producción. En el caso del proyecto para la producción de bioplásticos, esto incluye los costos de las materias primas. El costo del ácido poliláctico se estima a partir de datos obtenidos en catálogos en línea, considerando un 40% extra por costos de importación y transporte. De esta forma se determina un precio de compra del ácido poliláctico de $2240 \frac{\$}{ton}$. En cuanto a las cáscaras de naranja, sólo se considera el precio

para su transporte, ya que una de las condiciones que se determinaron para el diseño del proyecto, es que las cáscaras provienen de la producción de jugos naturales de la misma empresa local. Para aumentar la eficiencia del transporte, se considera que este se lo realiza una vez por semana considerando un costo de flete de $240 \frac{\$}{ton}$.

Los costos fijos del proyecto son aquellos que no dependen del caudal de producción. En esta estimación se incluyen los salarios del personal de operación y del de supervisión. Para el proyecto diseñado, se considera necesario un mínimo de siete personas que se encarguen de la operación de la planta. Dos personas se encargan de incorporar las cáscaras de naranja a la balsa de lavado (L-01), dos personas se encargan de introducir las cáscaras en el horno de secado (S-01) y de almacenarlas en el tanque (A-01) una vez se encuentren secas, una persona se encarga de retornar el cribado grueso del tamizador (TA-01) al molino (M-01) y finalmente dos personas tienen la tarea de almacenar los pellets de bioplástico provenientes de la peletizadora (P-01) en sacos de 25 kg. Los costos fijos de producción también incluyen otros parámetros, los cuales se encuentran más detallados en el anexo D.2. La suma de los costos variables y los costos fijos de producción resultan en el costo efectivo de producción de la planta (CCOP).

Tabla 5. Estimación de los costos totales del proyecto.

Costos para la implementación la planta [USD]		Costos para la operación de la planta [USD]	
Inversión de capital fijo	\$ 259.440	Costos de producción variables VCOP	\$ 869.617
Capital de trabajo	\$ 245.341	Costos de producción fijos FCOP	\$ 127.679
Inversión inicial total	\$ 504.780	Costo efectivo de producción CCOP	\$ 997.296

5.2. Evaluación de la rentabilidad del proyecto

Las estimaciones de costos calculadas hasta el momento tienen como objetivo realizar un análisis de rentabilidad del proyecto diseñado. La metodología utilizada para esta sección se encuentra en el anexo B.5.

Primero se determinó el flujo de caja. Esta es una representación numérica que considera los costos anuales ya determinados en las secciones previas y los ingresos generados a partir de la venta del producto principal. De esta forma se realiza un balance económico anualmente, el cual permite realizar varias conclusiones sobre la rentabilidad del proyecto. Se estableció un precio de venta del bioplástico de $3,62 \frac{\$}{kg}$ para que el proyecto sea rentable. Este precio de venta se analizará a mayor detalle en el análisis de flexibilidad que se presenta en la siguiente sección. Se considera además una tasa de impuestos del 12% y una tasa de interés del 10,21% [34]. Utilizando dos metodologías diferentes de depreciación, se construyó el flujo de caja presentado en el anexo D.2.

Siguiendo con la metodología, se calculó primero el tiempo de recuperación de inversión. Para un margen de ganancia del 75% se estimó un tiempo de cinco años y medio para la recuperación de la inversión de capital inicial. Este tiempo obtenido se encuentra dentro del límite superior del promedio de tiempos de recuperación aceptables para un proyecto [33]. De igual forma se determinó un valor actual neto (VAN) de \$242.000,00 con una tasa interna de retorno (TIR) del 34%. Ambos indicadores económicos concluyen que el proyecto es rentable; sin embargo, las ganancias obtenidas no son considerablemente altas.

Tabla 6. Indicadores económicos de la rentabilidad del proyecto.

Método	VAN [USD]	TIR	Tiempo de recuperación de inversión [años]	Retorno de inversión (ROI)
Lineal	\$ 413.146	42%	-	-
MACRS	\$ 404.819	42%	-	-
Promedio	\$ 408.982	42%	4,59	23%

Los indicadores de la rentabilidad del proyecto de la tabla 6 se obtuvieron siguiendo la metodología del anexo B.5 donde se utilizó un promedio de los costos obtenidos por los métodos de Lang, Hand y el factorial detallado, además de usar una combinación de los costos de los equipos entre metodología y catálogos. Esto puede conducir a una sobreestimación de los costos de la planta, razón por la cual, a continuación se presentan los indicadores resultantes usando solo el método factorial detallado y los precios de catálogos.

Tabla 7. Indicadores de rentabilidad usando precios de catálogo y el método factorial detallado.

Método	VAN [USD]	TIR	Tiempo de recuperación de inversión [años]	Retorno de inversión (ROI)
Lineal	\$ 511.152	64%	-	-
MACRS	\$ 507.599	64%	-	-
Promedio	\$ 509.375	64%	3,77	29%

5.3. Análisis de flexibilidad

Como parte de la evaluación del proyecto, es importante identificar cuáles son las variables que mayor impacto tienen en la rentabilidad de la planta de producción de bioplásticos. El análisis de flexibilidad se lo realizó de acuerdo con la metodología del anexo B.5. La primera variable relevante es el precio de venta del bioplástico. Como se puede observar en la figura 6, un margen de ganancia del 56,5%, es decir, un precio de venta de $3,24 \frac{\$}{kg}$, representa uno de los límites, donde el retorno de inversión (ROI) se aproxima a cero. Esto significa que las ganancias generadas

a este precio son mínimas con un tiempo de recuperación de inversión no factible. Por otro lado, se observa que un precio de venta de $3,44 \frac{\$}{kg}$ resulta en un valor actual neto (VAN) de aproximadamente cero con un tiempo de recuperación de cerca de diez años. Como era de esperarse, se identifica la tendencia creciente de rentabilidad del proyecto al aumentar el precio de venta del producto. No obstante, es importante considerar los precios de venta de la competencia en el mercado. Actualmente existe una muy limitada oferta de bioplásticos con sustitutos orgánicos, por esta razón, se compara el precio del bioplástico con cáscara de naranja frente al precio de ácido poliláctico puro [13]. De esta forma se concluye que el margen de ganancia más apropiado es del 75% con un precio de venta de $3,62 \frac{\$}{kg}$.

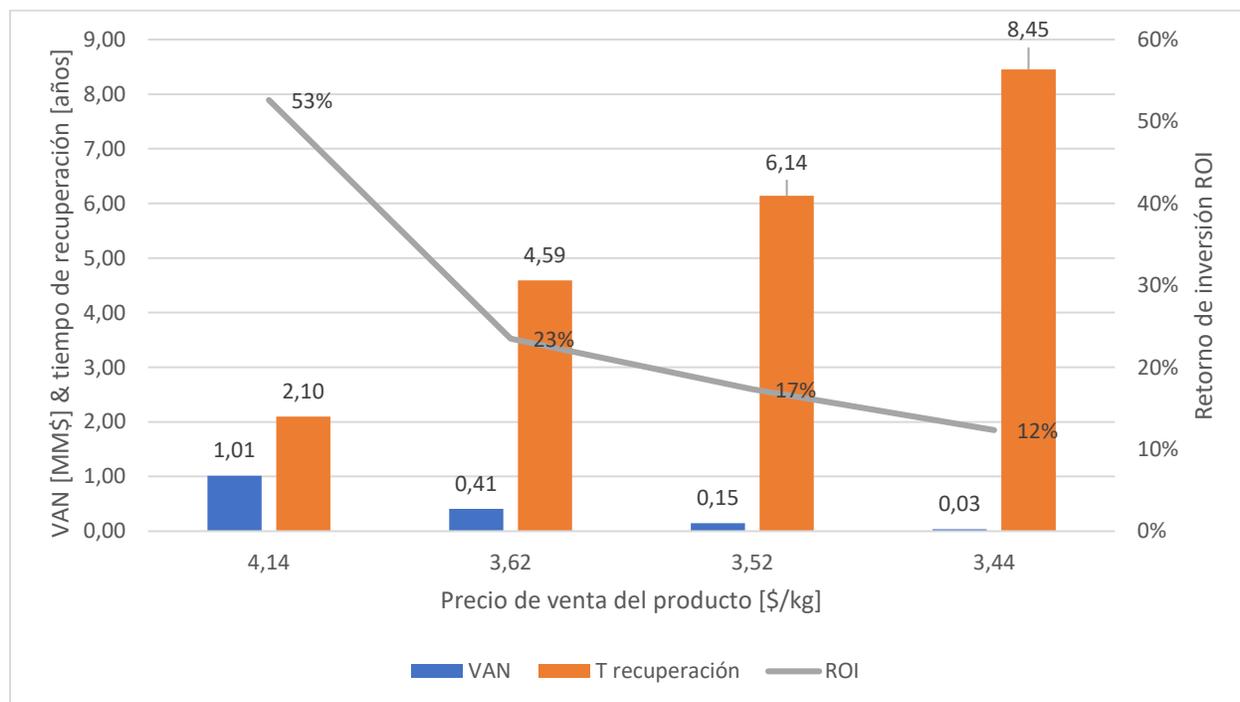


Figura 6. Estudio de flexibilidad con respecto al precio de venta del bioplástico.

Se realizó el mismo análisis para diferentes caudales de alimentación de cáscara de naranja y se determinó que la rentabilidad del proyecto aumenta con mayores caudales de alimentación de

cáscara de naranja. Sin embargo, esta variable es una de las limitantes que se definieron al inicio del proyecto. Esto se debe a que la disponibilidad de las cáscaras depende de la producción de jugos natural de la empresa local al ser este una materia prima de segunda generación.

Finalmente, se realizó el análisis de flexibilidad con respecto a la concentración de cáscaras de naranja en la formulación. La literatura presenta una concentración óptima del 20% en peso con respecto al ácido poliláctico, no obstante, el análisis de flexibilidad demuestra que a menores concentraciones de cáscara de naranja, los indicadores económicos del proyecto mejoran. En este caso es importante considerar la aplicación final de los pellets de bioplástico producidos, pues dependiendo de esto se requerirán diferentes propiedades mecánicas, las cuales varían con la concentración de cáscara de naranja [3], [35].

Los estudios de flexibilidad con respecto al caudal de alimentación de cáscaras de naranja y a su concentración en la formulación se encuentran en el anexo D.3. En base a estos resultados se evaluó la rentabilidad del proyecto usando un margen de ganancia del 40%, un caudal de alimentación de cáscaras de naranja de $2 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$ y un 15% de cáscaras de naranja secas con respecto a la masa de ácido poliláctico añadido. Los nuevos indicadores obtenidos se encuentran en la tabla 8.

Tabla 8. Indicadores económicos con nuevas variables de proceso.

Método	VAN [USD]	TIR	Tiempo de recuperación de inversión [años]	Retorno de inversión (ROI)
Lineal	\$1.630.892	124%	-	-
MACRS	\$1.622.294	124%	-	-
Promedio	\$1.626.593	124%	2,73	41%

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO

El uso indiscriminado de plásticos de origen fósil alrededor del mundo es uno de los principales contribuyentes al presente cambio climático. Para poder cambiar el actual comportamiento de los consumidores de plástico, es importante presentarles varias alternativas que tengan la misma funcionalidad y que no tengan un costo demasiado elevado. Tomando esto en cuenta, se logró realizar el diseño y un estudio de prefactibilidad para una planta de producción de bioplástico usando cáscaras de naranja de segunda generación obtenidas de una empresa local productora de jugos naturales. Siendo la disponibilidad de la materia prima uno de los limitantes más relevantes, se estimó un caudal de producción de pellets de bioplástico de $1,28 \frac{ton}{día}$, los cuales se envasan en sacos de 25 kg para su venta a un precio aproximado de $3,63 \frac{\$}{kg}$.

En primer lugar se definió la formulación del bioplástico usando fuentes bibliográficas disponibles. Para esto se tomaron en cuenta diferentes criterios, los cuales fueron utilizados en una matriz de decisión de carácter semicuantitativa para llegar a una conclusión. Uno de los criterios de mayor interés incluye la escalabilidad del proceso, debido a que la mayoría de las formulaciones encontradas en la literatura, sólo son analizadas a escala de laboratorio. De esta forma se definió el proceso con ácido poliláctico (PLA) como el más apropiado para las condiciones establecidas.

El diseño del proceso y la selección de los equipos fue realizado usando metodología de dimensionamiento establecida en literatura de ingeniería. Primero se definieron las operaciones unitarias necesarias y después de determinar las condiciones de operación en cada paso, se aplicó un balance de masa para calcular la capacidad y potencias necesaria de cada equipo. Para aquellos equipos que no tienen un procedimiento teórico bien definido para su dimensionamiento, se utilizaron datos obtenidos de catálogos disponibles. Los equipos seleccionados para el proceso

son: una balsa de lavado (L-01), una troceadora (TR-01), un horno de secado (S-01), un tanque de almacenamiento para las cáscaras secas (A-01), un molino (M-01), un tamizador vibratorio (TA-01), una mezcladora (ME-01), un extrusor para el peletizado (P-01) y finalmente, bandas transportadoras (B-i) y transportadores de tornillos sin fin (T-i) para transportar de manera continua el material desde un equipo a otro. El proceso de producción se dividió en dos etapas semicontinuas debido al tiempo necesario de secado en el horno (S-01).

Para concluir con el análisis de prefactibilidad, se realizó un análisis de indicadores económicos. Primero se estimaron los costos de los equipos usando tres diferentes metodologías y luego se definieron tanto los costos de inversión del proyecto, como los costos fijos y variables de producción. Para las condiciones establecidas se calculó un valor actual neto (VAN) de \$242.054,94, una tasa interna de retorno (TIR) del 34% y un tiempo de recuperación de aproximadamente 5,7 años. Esto indica que el proyecto sí es rentable bajo las condiciones estipuladas. Para añadir robustez al análisis económico, se realizó también un análisis de flexibilidad, donde se observaron variables como: precio de venta, caudal de alimentación de cáscaras de naranja y concentración de cáscaras de naranja en la formulación.

Para una futura implementación del proyecto, se recomienda analizar más a detalle las propiedades mecánicas del bioplástico obtenido dependiendo de su formulación. Esto se debe a que las caracterizaciones utilizadas durante este estudio de prefactibilidad fueron hechas en su mayoría a escala de laboratorio. Uno de los pasos más críticos del proceso es el mezclado del polvo de naranja con el PLA. También se recomienda buscar alternativas para la adquisición de las cáscaras de naranja, ya que se observa que la rentabilidad del proyecto aumenta considerablemente a mayores caudales de producción.

CAPÍTULO 7: REFERENCIAS

- [1] R. Geyer, J. R. Jambeck, y K. L. Law, “Production, use, and fate of all plastics ever made”, *Sci Adv*, vol. 3, núm. 7, p. e1700782, 2017, doi: 10.1126/sciadv.1700782.
- [2] Ministerio de industrias y productividad, “Industria de transformación de plásticos en el Ecuador”, Quito, may 2015.
- [3] N. S. Sambudi, W. Y. Lin, N. Y. Harun, y D. Mutiari, “Modification of Poly(lactic acid) with Orange Peel Powder as Biodegradable Composite”, *Polymers (Basel)*, vol. 14, núm. 19, 2022, doi: 10.3390/polym14194126.
- [4] S. Waaijers-van der Loop *et al.*, “Improved science-based transformation pathways for the development of safe and sustainable plastics”, *Environ Int*, vol. 160, 2022, doi: 10.1016/j.envint.2021.107055.
- [5] C. Maraveas, “Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste”, *Polymers*, vol. 12, núm. 5. 2020. doi: 10.3390/POLYM12051127.
- [6] Manali Shah, Sanjukta Rajhans, Himanshu A. Pandya, y Archana U. Mankad, “Bioplastic for future: A review then and now”, *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 9, núm. 2, pp. 056–067, feb. 2021, doi: 10.30574/wjarr.2021.9.2.0054.
- [7] N. and O. N. H. and M. F. and Z. M. M. and S. M. S. M. Alias Nur Hashimah and Abdullah, “Sustainability Challenges and Future Perspectives of Biopolymer”, en *Biopolymers: Recent Updates, Challenges and Opportunities*, S. and B. R. Nadda Ashok Kumar and Sharma, Ed., Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 373–389. doi: 10.1007/978-3-030-98392-5_17.
- [8] V. Bátori, M. Jabbari, D. Åkesson, P. R. Lennartsson, M. J. Taherzadeh, y A. Zamani, “Production of Pectin-Cellulose Biofilms: A New Approach for Citrus Waste Recycling”, *Int J Polym Sci*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/9732329.
- [9] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua”, Quito, abr. 2022.
- [10] K. Rezzadori, S. Benedetti, y E. R. Amante, “Proposals for the residues recovery: Orange waste as raw material for new products”, *Food and Bioproducts Processing*, vol. 90, núm. 4, pp. 606–614, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.06.002>.
- [11] P. Berger *et al.*, “Biopolymers obtained from orange waste based on a decision tree”, en *2020 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2020*, 2020. doi: 10.1109/ANDESCON50619.2020.9271999.

- [12] J. Fehlberg, S. McKay, L. M. Matuana, y E. Almenar, “Use of orange juice processing waste to produce films using blown film extrusion for food packaging”, *J Food Eng*, vol. 341, p. 111337, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111337>.
- [13] “Alibaba”, <https://www.alibaba.com/>, 2023. <https://www.alibaba.com/> (consultado el 22 de abril de 2023).
- [14] D. G. Bucknall, “Plastics as a materials system in a circular economy”, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 378, núm. 2176, p. 20190268, jul. 2020, doi: 10.1098/rsta.2019.0268.
- [15] J. S. Yaradoddi *et al.*, “Bio-based material from fruit waste of orange peel for industrial applications”, *Journal of Materials Research and Technology*, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.09.016.
- [16] Asamblea Nacional del Ecuador, “Ley orgánica para la racionalización, reutilización y reducción de plásticos de un solo uso”, dic. 2020.
- [17] Naciones Unidas, “Objetivos de desarrollo sostenible”, 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (consultado el 30 de abril de 2023).
- [18] S. R. Gregory, *Physical properties of glycerine*, vol. pp. 113-156. 2018.
- [19] Statista, “Low density polyethylene production in the United States from 1990 to 2019”, 2023. Consultado: el 22 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/975571/us-ldpe-production-volume/>
- [20] F. Z. Arrakhiz *et al.*, “Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: Doum/low density polyethylene”, *Mater Des*, vol. 43, pp. 200–205, ene. 2013, doi: 10.1016/j.matdes.2012.06.056.
- [21] J. L. Jordan, D. T. Casem, J. M. Bradley, A. K. Dwivedi, E. N. Brown, y C. W. Jordan, “Mechanical Properties of Low Density Polyethylene”, *Journal of Dynamic Behavior of Materials*, vol. 2, núm. 4, pp. 411–420, 2016, doi: 10.1007/s40870-016-0076-0.
- [22] E. Balla *et al.*, “Poly(lactic Acid): A Versatile Biobased Polymer for the Future with Multifunctional Properties—From Monomer Synthesis, Polymerization Techniques and Molecular Weight Increase to PLA Applications”, *Polymers (Basel)*, vol. 13, núm. 11, p. 1822, may 2021, doi: 10.3390/polym13111822.
- [23] J.-F. Zhang y X. Sun, “Mechanical Properties of Poly(lactic acid)/Starch Composites Compatibilized by Maleic Anhydride”, *Biomacromolecules*, vol. 5, núm. 4, pp. 1446–1451, jul. 2004, doi: 10.1021/bm0400022.

- [24] A. Bassani, S. Montes, E. Jubete, J. Palenzuela, A. P. Sanjuán, y G. Spigno, “Incorporation of waste orange peels extracts into PLA films”, *Chem Eng Trans*, vol. 74, 2019, doi: 10.3303/CET1974178.
- [25] M. Mičušík *et al.*, “Effect of crosslinking on the properties of composites based on LDPE and conducting organic filler”, *Eur Polym J*, vol. 42, núm. 10, pp. 2379–2388, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2006.05.024>.
- [26] R. A. Ilyas *et al.*, “Polylactic acid (Pla) biocomposite: Processing, additive manufacturing and advanced applications”, *Polymers*, vol. 13, núm. 8. 2021. doi: 10.3390/polym13081326.
- [27] Gobierno del Ecuador, *Constitución de la república del Ecuador*. Ecuador: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf, 2021.
- [28] Organización Internacional para la Estandarización, *Norma ISO 9001:2015*. <https://www.normas-iso.com/iso-9001/>, 2015.
- [29] Servicio Ecuatoriano de Normalización, *Normas INEN*. <http://apps.normalizacion.gob.ec/descarga/>, 2022.
- [30] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 2883”, 2015. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte-inen-2883.pdf> (consultado el 30 de abril de 2023).
- [31] J. Parameswaranpillai, S. Siengchin, N. V. Salim, J. J. George, y A. Poulouse, *Polylactic Acid-Based Nanocellulose and Cellulose Composites*. 2022. doi: 10.1201/9781003160458.
- [32] S. Alfano, “The future of second-generation biomass.”, *Sustainability & Resource Productivity*, vol. 1–5, 2016.
- [33] Ray Sinnott y Gavin Towler, *Chemical engineering design*, 6th ed. Elsevier ; Butterworth-Heinemann, New Delhi, Amsterdam, 2010.
- [34] Banco central del Ecuador, “Tasas de interés”, mayo de 2023. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm> (consultado el 30 de abril de 2023).
- [35] R. A. Ilyas *et al.*, “Natural Fiber-Reinforced Polylactic Acid, Polylactic Acid Blends and Their Composites for Advanced Applications”, *Polymers*, vol. 14, núm. 1. 2022. doi: 10.3390/polym14010202.

ANEXO A: FIGURAS Y TABLAS

Anexo A.1.: Empresas productoras de plástico en el Ecuador



Figura 7. Empresas principales en la producción de plásticos en Ecuador [2].

Anexo A.2.: Propiedades de las materias primas

Tabla 9. Propiedades de las materias primas principales en la producción de bioplásticos [3], [12], [15].

Propiedades	Unidades	Glicerol	Polietileno de baja densidad	Ácido poliláctico	Cáscaras de naranja
Densidad ρ	$\frac{kg}{m^3}$	1261	930	1430	900
Temperatura de fusión T_f	$^{\circ}C$	290	105	160	-
Temperatura de transición vítrea T_g	$^{\circ}C$	-	-	60	-
Esfuerzo máximo σ	MPa	-	51	53	18
Módulo de Young	GPa	-	300	3447	-
NFPA 704	-				

ANEXO B: METODOLOGÍA

Las metodologías utilizadas durante el diseño de la planta de producción de bioplásticos fueron las siguientes:

B.1. Selección del proceso

i) Determinar la materia prima orgánica que se utilizará como sustituto en la producción de bioplástico, considerando factores como disponibilidad y valor agregado.

ii) Investigar en la literatura los procedimientos a escala de laboratorio que utilizan biomasa y otros componentes para la producción de diferentes tipos de bioplástico.

iii) Realizar un matriz de decisión considerando criterios de interés que incluye los siguientes factores: la mayor concentración de cáscara de naranja en las formulaciones para producir un bioplástico estable, el grado de biodegradabilidad del producto, la seguridad dispuesta por la exposición a diferentes sustancias durante la producción, la disponibilidad de las materias primas, el caudal de producción alcanzable, la simplicidad técnica del proceso y las propiedades mecánicas finales del bioplástico como producto.

Tabla 10. Análisis semicuantitativo para la selección del proceso más adecuado

Criterio	Ponderación [1-5]	Glicerol		LDPE		PLA	
		Puntos	Total	Puntos	Total	Puntos	Total
Concentración máxima de cáscara de naranja	1	5	5	3	3	2	2
Biodegradabilidad	2	5	10	2	4	4	8
Seguridad en base a los reactivos	2	3	6	4	8	3	6
Disponibilidad	3	4	12	4	12	3	9
Tiempo de producción	3	2	6	3	9	4	12
Simplicidad del proceso	4	4	16	2	8	3	12
Propiedades mecánicas	5	1	5	4	20	4	20
		Total	60	Total	64	Total	69

* LDPE: Polietileno de baja densidad, PLA: ácido poliláctico

iv) Seleccionar el proceso más adecuado usando como apoyo el resultado semicuantitativo de la matriz de decisiones.

B.2. Diseño del proceso

i) Establecer una base de cálculo para el proceso basado en la disponibilidad de las materias primas.

ii) Determinar las condiciones de operación de una planta considerando el caudal de alimentación establecido.

iii) Identificar las operaciones unitarias y los equipos necesarios para el proceso seleccionado y determinar las condiciones de operación necesarias.

iv) Establecer las pérdidas de material en los equipos y realizar un balance de masa considerando todas las corrientes de entrada y de salida tomando en cuenta las leyes de conservación de masa y energía.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) = 0$$

$\rho = \text{densidad}$

$\vec{v} = \text{velocidad (vector)}$

$t = \text{tiempo}$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \vec{v} \nabla T - \dot{G} = 0$$

$C_p = \text{capacidad calorífica}$

$T = \text{temperatura}$

$\dot{G} = \text{taza de generación}$

B.3. Diseño de la planta

i) Identificar el caudal de entrada y de salida de que cada equipo, al igual que sus condiciones de operación.

ii) Dimensionar cada equipo siguiente la metodología descrita a continuación.

a. Balsa de Lavado L-01

i) Investigar sobre el tipo de lavada más común para cáscaras de naranja y seleccionarlo.

ii) Seleccionar el equipo en base a su capacidad de procesamiento y al tipo de lavado.

b. Troceadora TR-01

i) Identificar el corte necesario para reducir las cáscaras de naranja en enteras en trozos más pequeños.

ii) Seleccionar un equipo adaptado para un proceso continuo en base a su capacidad y al caudal de alimentación.

c. Secador S-01

i) Identificar el corte necesario para reducir las cáscaras de naranja en enteras en trozos más pequeños.

ii) Realizar un balance de masa alrededor del secador como se muestra en la siguiente figura

8.

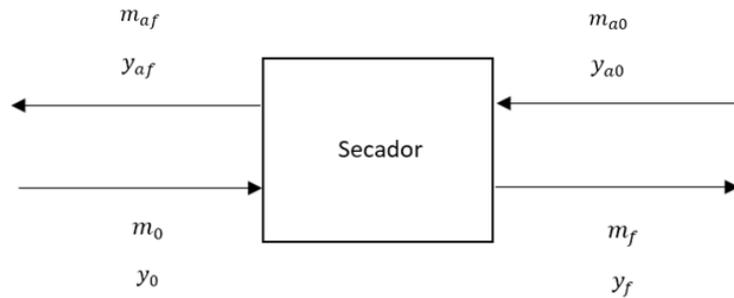


Figura 8. Corrientes de entrada y de salida del secador.

$$m_0 + m_{a0} = m_f + m_{af}$$

$$\begin{aligned} (1 - y_0) \times m_0 \times \frac{y_0}{(1 - y_0)} + (1 - y_{a0}) \times m_{a0} \times \frac{y_{a0}}{(1 - y_{a0})} \\ = (1 - y_f) \times m_f \times \frac{y_f}{(1 - y_f)} + (1 - y_{af}) \times m_{af} \times \frac{y_{af}}{(1 - y_{af})} \end{aligned}$$

m_0 = caudal másico entrada de cáscaras de naranja (CN)

m_f = caudal másico salida de CN

m_{a0} = caudal másico entrada de aire

m_{af} = caudal másico salida de aire

y_i = concentración de agua de cada respectivo componente

iii) Aplicar las siguientes ecuaciones aprovechando que la cantidad de sólido seco (SS) y aire seco (AS) se mantienen constantes.

$$SS := (1 - y_0) \times m_0 = (1 - y_f) \times m_f$$

$$AS := (1 - y_{a0}) \times m_{a0} = (1 - y_{af}) \times m_{af}$$

iv) Se calcula la cantidad de agua evaporada Δm_w .

$$\Delta m_w = (1 - y_0) \times m_0 \times \left(\frac{y_0}{(1 - y_0)} - \frac{y_f}{(1 - y_f)} \right)$$

v) En este punto es necesario utilizar una carta psicométrica a presión normal para determinar la porción de humedad en el aire.

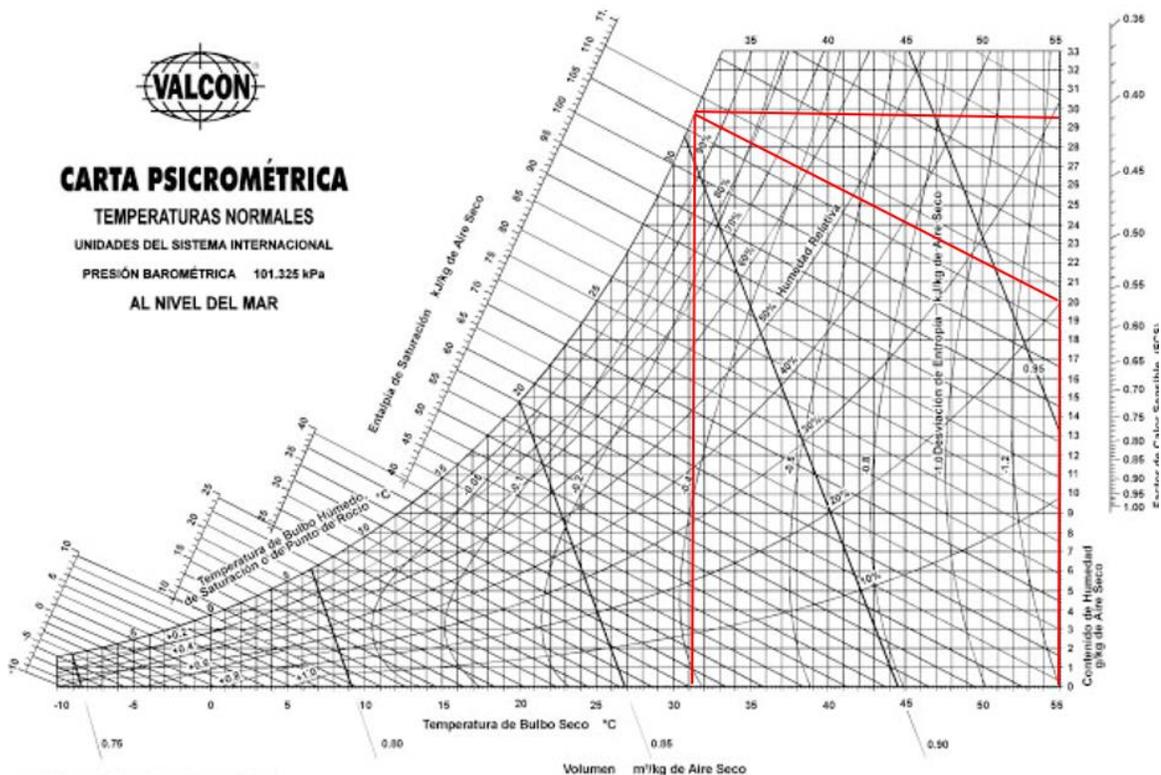


Figura 9. Carta psicométrica del aire a presión normal [33].

vi) Determinar gráficamente los valores de Y_{a0} y Y_{af} , los cuales indican la concentración usando las unidades kilogramos de agua por cada kilogramo de aire seco.

$$\Delta m_w = AS \times (Y_{af} - Y_{a0})$$

$$AS = \frac{\Delta m_w}{(Y_{af} - Y_{a0})}$$

vii) Calcular la cantidad de aire seco m_{a0} en la entrada usando la siguiente ecuación

$$AS = \frac{m_{a0}}{V_H}$$

$V_H = \text{volumen del aire humedo}$

viii) Calcular la cantidad de volumen húmedo a la salida con:

$$V_H = \left(\frac{1}{M_a} + \frac{Y}{M_w} \right) \times \frac{RT}{P_{atm}}$$

$R =$ constante universal de los gases

$T =$ temperatura de salida del aire humedo

$P_{atm} =$ presión atmosférica

$M_a =$ masa molecular del aire $M_w =$ masa molecular del agua

ix) Investigar en la literatura el valor de las constantes requeridas para el balance de energía. Estos son:

Calor latente de vaporización del agua: $\lambda_a = 2270 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Calor específico del agua: $C_w = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

Calor específico del vapor de agua: $C_{w,v} = 1,92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

Calor específico del aire: $C_a = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$

x) Realizar el balance de energía con:

$$\begin{aligned} (1 - y_0) \times m_0 \times H_0 + (1 - y_{a0}) \times m_{a0} \times H_{a0} \\ = (1 - y_f) \times m_f \times H_f + (1 - y_{af}) \times m_{af} \times H_{af} \end{aligned}$$

$H_i =$ entalpía de cada respectivo componente

xi) Aplicar un proceso análogo al balance de masa donde se considera que SS y AS se mantienen constantes.

$$SS (H_0 - H_f) = AS(H_{af} - H_{a0})$$

xii) Determinar la entalpía del aire a la salida usando la siguiente ecuación.

$$H_{af} = C_{Hf}(T - T^0) + \lambda_a Y_{af}$$

$T^0 = \text{temperatura de referencia}$

xiii) Calcular la capacidad calórica del aire húmedo con:

$$C_{Hf} = C_a + C_{w,v} \times Y_{af}$$

xiv) Realizar el mismo proceso para calcular H_{af} y H_{a0} para finalmente calcular el calor Q necesario para la evaporación.

$$Q = AS (H_{af} - H_{0f})$$

xv) Usar el caudal másico obtenido del balance de masa y transformarlo a caudal volumétrico usando la densidad determinada para las cáscaras de naranja húmedas.

$$\rho_H = 900 \frac{kg}{m^3}$$

xvi) Utilizar las siguientes ecuaciones de dimensionamiento para determinar el volumen del secador considerando un 20% de sobredimensionamiento. Ya que el secado es un proceso de tipo Batch, se debe escoger también el tiempo de recolección de las CN troceadas antes de introducir las al secador.

$$P = \sqrt[3]{\frac{V}{3}}$$

$$H = 2P$$

$$A = 1,5P$$

$P = \text{profundidad del secador}$ $H = \text{altura del secador}$

$V = \text{volumen del secador}$ $A = \text{ancho del secador}$

xvii) Establecer el material apropiado para el equipo.

d. Tanque de almacenamiento A-01

i) Definir el volumen necesario de almacenamiento considerando el caudal másico de entrada y el tiempo de llenado.

ii) Seleccionar la geometría del tanque de almacenamiento al igual que el de sus terminales.

Se seleccionó una geometría cilíndrica.

$$V_A = \pi r_A^2 L_A$$

$V_A = \text{volumen de almacenamiento}$ $r_A = \text{radio del tanque}$

$L_A = \text{largo del tanque}$

iii) Aplicar la siguiente fórmula de dimensionamiento para determinar L_A

$$L_A = 2D_A$$

$D_A = \text{diámetro del tanque}$

iv) Añadir un sobredimensionamiento del 20% al largo del tanque por seguridad.

v) Determinar la presión de operación considerando la presión atmosférica y la presión causada por el peso de las naranjas. Se determina que la densidad de las cáscaras secas ρ_s es:

$$\rho_s = 600 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_o = P_{atm} + P_h$$

$$P_h = \rho \times g \times L$$

P_o = presión de operación

P_h = presión causada por CN

g = aceleración gravitatoria

vi) Añadir un sobredimensionamiento del 10% a la presión de operación.

$$P_i = 1,1 P_o$$

vii) Calcular el espesor de la pared del tanque t_w usando la siguiente ecuación.

$$t_w = \frac{P_i \times D_A}{2 \times S \times E - 1,2P_i} + 2mm$$

S = esfuerzo máximo permisible de las CN E = eficiencia de la soldadura [0 – 1]

viii) Determinar el tipo de material requerido para el proceso y calcular la masa del tanque m_A usando su densidad.

Densidad del acero inoxidable 304: $\rho_{AI} = 7850 \text{ kg/m}^3$

$$m_A = \pi \times \rho_{AI} \times D_A \times L \times t_w$$

ix) Determinar de forma análoga la masa de los respectivos terminales usando:

$$t_b = D_i \sqrt{\frac{C P_i}{S \times E}}$$

t_b = espesor del terminal inferior C = constante = 0,1

$$t_u = \frac{P_i \times D_A}{2 \times S \times E - 0,2P_i}$$

t_u = espesor del terminal superior

x) Determinar la masa de los terminales usando ρ_{AI} y sumar las masas para obtener el peso del tanque de almacenamiento.

e. Molino M-01

i) Establecer el tamaño de partícula D_f deseado después de la molienda.

ii) Investigar sobre el coeficiente de fricción μ para el rozamiento entre cáscara de naranja y acero inoxidable.

$$\mu = 0,42$$

iii) Calcular el ángulo de separación entre los rodillos α , el cual se forma por las tangentes de sus caras.

$$\alpha = 2 \times \tan^{-1} \mu$$

iv) Escoger el tipo de perfil del rodillo y determinar su diámetro D_r con:

$$D_r = \frac{D_t \times \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - D_f}{1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

$D_t =$ *diámetro inicial de las partículas añadidas*

v) Obtener el ángulo de contacto l necesario para una disminución de tamaño de partícula de D_t a D_f .

$$l = \frac{D_r \times \alpha}{4}$$

vi) Determinar el caudal volumétrico de entrada.

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho_s}$$

vii) Calcular la longitud L del rodillo.

$$L = \frac{60\pi N D_r D_f}{Q}$$

$N =$ velocidad de rotación del rodillo [RPM]

viii) Usar la tensión de ruptura de la cáscara de naranja seca $\sigma_{CN} = 183,54 \frac{kg}{cm^2}$ para calcular la carga de los rodillos q_c .

$$q_c = \sigma_{CN} L$$

ix) Calcular el torque T necesario de los rodillos con:

$$T = \mu q_c L \frac{D_r}{2}$$

x) Determinar la potencia necesaria del molino de rodillos P_M .

$$P_M = \frac{T}{\omega}$$

$\omega =$ velocidad angular de los rodillos $\left[\frac{rad}{s} \right]$

xi) Establecer el material más apropiado para el equipo.

f. Tamizador T-01

i) Identificar el caudal de entrada con ayuda del balance de masa.

ii) Determinar el diámetro de apertura de las mallas dependiendo del tamaño de partícula deseado.

iii) Investigar sobre el método más efectivo para acelerar el proceso de tamizado, por ejemplo, por medio de vibraciones mecánicas.

iv) Usar la siguiente relación como método de dimensionamiento para determinar un volumen eficiente para el tamizador. Sobredimensionar con un 15%.

$$V_{tamiz} = \frac{1}{3} V_{carga}$$

iv) Investigar en la literatura la cantidad aproximada de cribado grueso generado, el mismo que será recirculado al equipo M-01.

v) Establecer el material más apropiado para el equipo.

g. Mezclador dinámico ME-01

i) Investigar en la literatura sobre equipos parecidos a la mezcladora dinámica marca *Brabender 350S* pero que tenga una capacidad industrial.

ii) Determinar la capacidad de la mezcladora usando el caudal de entrada obtenido del balance de masa.

iii) Establecer la temperatura apropiada y la velocidad de los tornillos usando información obtenida de literatura.

iv) Identificar el material más apropiado para el equipo.

h. Peletizadora P-01

i) Determinar el tamaño del pellet que se busca como producto final.

ii) Obtener la densidad aproximada de la mezcla ρ_m usando las fracciones máxicas y las densidades de los componentes.

$$\rho_m = x_{PLA}\rho_{PLA} + x_{CN}\rho_{CN}$$

iii) Calcular el área A_h necesaria para la extrusión de un pellet de bioplástico.

$$A_h = \pi r_h^2$$

$r_h = \text{radio del hoyo}$

iv) Determinar la velocidad de extrusión v_p de un solo hilo usando el caudal volumétrico obtenido del balance de masa.

$$v_p = \frac{Q_p}{A}$$

v) Obtener el número de agujeros n_h necesarios para la extrusión.

$$n_h = \frac{v_h}{v_p}$$

vi) Investigar las condiciones de operación de la peletizadora según lo que indica la literatura.

$$v_T = 100rpm$$

$$D_T = 27mm$$

$$T_p = 200^\circ C$$

$v_T = \text{velocidad de rotación de los tornillos}$ $D_T = \text{Diámetro del tornillo}$

vii) Usar la siguiente ecuación de dimensionamiento para obtener la altura h del cilindro.

$$h = 1,3d$$

viii) Calcular el volumen del cilindro de extrusión V_p .

$$V_p = 2\pi r_p^2 h$$

iv) Identificar el material más apropiado para el equipo.

i. Bandas transportadoras B-i

i) Establecer la velocidad necesaria de las bandas transportadoras de acuerdo con el caudal de cada equipo.

ii) Determinar el ancho A_B y la longitud L_B de cada banda transportadora según la distribución física de los equipos en la planta de producción.

iii) Seleccionar un tipo de material que no se desgaste con facilidad y que sea inerte con respecto a los productos y subproductos a lo largo del proceso de manufactura [33].

j. Tornillo sin fin T-i

i) Determinar el caudal de entrada para la mezcladora dinámica y para la peletizadora en base al balance de masa realizado.

ii) Identificar las dimensiones de los respectivos equipos entre los tornillos sin fin y calcular la diferencia de altura Δh .

$$\Delta h = h_{eq.2} - h_{eq.1}$$

ii) Calcular el ángulo de inclinación α del tornillo asumiendo una distancia de diez metros entre cada equipo.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta h}{x}\right)$$

Distancia entre cada equipo: $x = 10m$

iii) Calcular la longitud L del tornillo

$$L = \frac{\sin(\alpha)}{\Delta h}$$

iv) Analizar el caudal obtenido en el balance de masa y obtener la velocidad de flujo asumiendo un diámetro para la carcasa del tornillo sin fin. Se asume $d = 0,3m$.

$$v = \frac{Q}{A}$$

$v =$ velocidad de flujo $Q =$ caudal volumétrico $A =$ área transversal

v) Determinar la velocidad de rotación de los tornillos y su diámetro de acuerdo con el caudal de entrada y al material a transportarse.

Tabla 11. Capacidad de transporte de un tornillo sin fin [33].

TABLA Capacidad de transporte de un sin fin								
Ø del tornillo (mm)	160	200	250	315	400	500	630	800
Paso de hélice (mm)	160	200	250	300	355	400	450	500
Velocidad normal (r.p.m.)...	70	65	60	55	50	45	40	35
Capacidad en horizontal al 100 % (m ³ /h)	14	26	45	78	130	217	342	525

vi) Calcular la potencia para el transporte horizontal del material P_H .

$$P_H = c_0 \frac{QL}{367}$$

$c_0 =$ coeficiente de resistencia = 1,2

Tabla 12. Coeficientes de resistencia para tornillos sin fin [33].

Tipo de material	Valor de c_0
Harina, serrín, productos granulados	1,2
Turba, sosa, polvo de carbón	1,6
Antracita, carbón, sal de roca	2,5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

vii) Calcular la potencia para el accionamiento del tornillo al vacío P_N .

$$P_N = \frac{DL}{20}$$

viii) Calcular la potencia total del tornillo P_t .

$$P_t = P_H + P_N$$

ix) Determinar el material más apropiado para el equipo según el material de transporte.

B.4. Balance de energía

i) Identificar el costo energético estipulados por los proveedores de los equipos seleccionados.

ii) Calcular el consumo energético de lo equipos por medio de la metodología descrita previamente.

iii) Realizar un promedio entre ambos valores para obtener la estimación del consumo energético de operación de cada equipo.

B.5. Análisis económico

a. Costo ISBL

i) Identificar los costos obtenidos de los equipos seleccionados por catálogo y adicionar un 40% del precio considerando costos de importación.

ii) Sumar todos los costos calculados para obtener el costo total de los equipos de la planta po catálogo

iii) Estimar los costos de los equipos, utilizando la siguiente metodología [33].

$$C_e = a + bS^n$$

$C_e = \text{costo del equipo}$ $a, b, n = \text{constantes de cada equipo}$ $S = \text{caudal procesado}$

Las respectivas constantes para cada equipo se encuentran en el anexo D.1.

iv) Comparar los costos obtenidos de catálogos con los calculados con la metodología.

v) Si la diferencia de precio entre ambos valores es menor al precio de catálogo, sacar un promedio entre ambos precios. Caso contrario utilizar el precio de catálogo. Este cálculo se encuentra en el anexo D.1.

vi) Definir los factores de estimación de costos según el método de Lang y Hand.

$$f_{L1} = 3, \text{ para procesos con sólidos}$$

$$f_{L2} = 5, \text{ para procesos con fluidos}$$

$$f_{L3} = 4, \text{ para procesos mixtos}$$

$$C_L = \sum f_{Li} \times C_e$$

$C_L = \text{Costo ISBL según Lang}$

$$C_H = \sum f_{Hi} \times f_m \times C_e$$

$C_L = \text{Costo ISBL según Hand}$ $f_m = \text{factor del material}$

vii) Identificar los respectivos valores f_i del método factorial detallado para cada equipo y estimar el costo ISBL C_{ISBL} según este método usando la siguiente ecuación.

$$C_{ISBL} = \sum C_e [(1 + f_p)f_m + (f_{er} + f_{el} + f_i + f_s + f_l)]$$

f_p = factor de instalación de tuberías f_{er} = factor de montaje

f_{el} = factor eléctrico f_i = factor por instrumentación y control de proceso

f_s = factor de estructuras y construcción f_l = factor de revestimiento y pinturas

viii) Encontrar el costo ISBL que se va a utilizar en futuros cálculos mediante un promedio de los valores obtenidos por los tres métodos mencionados.

b. Estimación de la inversión de capital fijo

i) Una vez definido el costo ISBL, estimar el costo OSBL.

$$C_{ISBL} \approx 0,4 C_{OSBL}$$

ii) Estimar el costo requerido para la ingeniería, diseño y construcción de la planta.

$$C_{Ing} \approx 0,15 (C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

iii) Estimar el precio de los gastos imprevistos.

$$C_{Imp} \approx 0,1(C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

iv) Calcular la inversión de capital fijo con:

$$C_{CF} = C_{ISBL} + C_{OSBL} + C_{Ing} + C_{Imp}$$

c. Cálculo del capital de trabajo

i) Determinar el costo del inventario tomando en cuenta el costo de la materia prima de dos semanas producción.

ii) Determinar el costo del inventario de productos de dos semanas de producción

iii) Estimar el efectivo en caja (caja chica) como los costos de producción de una semana.

iv) Estimar las cuentas a cobrar como los costos de producción de un mes.

v) Estimar los créditos de cuentas pendientes como el costo de las materias primas de un mes.

vi) Estimar el inventario de repuestos con:

$$IR \approx 0,015 (C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

vii) Sumar todos los costos calculados para obtener el capital de trabajo.

d. Cálculo los costos variables de producción (VCOP)

i) Identificar los costos que sí dependen del caudal anual de producción.

ii) Estimar estos costos con precios de acceso público como referencia.

iii) Incluir costos como: costo de las materias primas, costos de energía, costos de transporte, etc.

e. Cálculo de los costos fijos de producción (FCOP)

i) Identificar los costos que no dependan del caudal anual de producción.

ii) Estimar estos costos con datos referenciales de la literatura [33].

iii) Incluir costos como: labor de operación, supervisión, gastos salariales, mantenimiento, impuestos, alquiler del terreno, gastos generales, gastos medioambientales, etc.

iv) Determinar el costo efectivo de producción ($CCOP$ – *cash cost of production*).

$$CCOP = FCOP + VCOP$$

f. Determinar el flujo de caja del proyecto.

i) Estimar los ingresos anuales (I) por la venta del producto principal. Una estimación se puede lograr aumentando un margen de ganancia al costo de producción calculado.

ii) Determinar el margen bruto de ganancias del producto.

$$MB = I - C_{MP}$$

$MB = \text{margen bruto}$ $I = \text{ingresos}$ $C_{MP} = \text{costos de la materia prima}$

iii) Obtener el beneficio bruto (BB) y el beneficio neto (BN) del proyecto.

$$BB = I - CCOP$$

$$BN = BB - \text{Impuestos}$$

iv) Obtener el flujo de caja del proyecto con una depreciación estimada de los equipos de diez años. Utilizar una depreciación lineal y la depreciación con la metodología MACRS como se muestra en el anexo D.2 [33].

g. Cálculo de indicadores para el análisis de rentabilidad del proyecto.

i) Determinar el total de la inversión inicial y estimar el tiempo de recuperación de inversión t_{rec} .

$$t_{rec} = \frac{\text{Inversión total inicial}}{\text{flujo de caja anual promedio}}$$

ii) Calcular la tasa de retorno de inversión (ROI – *return of investment*).

$$ROI = \frac{\text{Beneficio anual neto}}{\text{Inversión total inicial}}$$

iii) Calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) utilizando los datos obtenidos a partir del flujo de caja.

h. Análisis de flexibilidad

i) Determinar las variables más relevantes para la rentabilidad del proyecto.

ii) Modificar las variables determinadas y observar el comportamiento de los indicadores económicos como resultado.

iii) Comparar gráficamente los resultados obtenidos y determinar la combinación de variables óptima con respecto a las ganancias del proyecto.

ANEXO C: RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Anexo C.1.: Pérdidas de material determinadas para cada equipo de producción

Tabla 13. Pérdidas establecidas para cada equipo en el proceso de producción de bioplástico [33].

Pérdidas de material en los equipos			
L-01	4%	ME-01	1,5%
TR-01	2,19%	P-01	2%
S-01	2,7%	B-i	0,5%
M-01	2,19%	A-01	0,05%
TA-01	0,2%	T - i	1,0%

Anexo C.2.: Balance de masa

Tabla 14. Balance de masa del proceso de producción de bioplástico.

Corriente	1	1.1	2.1	2	3	4	5	5.1	6	6.1
Cáscara seca [kg/h]	25	0,0	0,0	25,0	24,9	24,3	24,2	0,0	23,6	0,0
Agua [kg/h]	100	10,00	9,60	100,4	100	98	97	5907	10	5916
Ácido poliláctico [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aire Seco [kg/h]	0	0	0	0	0	0	0	1477	0,00	1437
Total [kg/h]	125	10	10	125	125	122	121	7383	33	7353

Corriente	7	8	9	10	10.1	11	11.1	12	13	14
Cáscara seca [kg/h]	23,5	26,8	26,7	24,0	2,7	23,7	0,0	23,4	23,1	22,7
Agua [kg/h]	10	11	11	10	1,1	9,8	0	10	9,6	9
Ácido poliláctico [kg/h]	0	0	0	0	0	0,0	134	132	130,8	128,2
Aire Seco [kg/h]	0	0	0	0	0	0,0	0	0	0,0	0
Total [kg/h]	33	38	38	34	4	34	134	165	164	160

Anexo C.3.: Resumen del dimensionamiento de cada equipo

a. Balsa de lavado L-01

Tabla 15. Características principales del dimensionamiento de la balsa de lavado.

Balsa de lavado L-01		
Descripción	Valor	Unidad
Caudal de ingreso CN	125	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Potencia (catálogo)	4	$[kW]$
Largo (L)	4	$[m]$
Alto (H)	1	$[m]$
Ancho (A)	2	$[m]$
Peso	550	$[kg]$
Caudal del agua de lavado	10	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Material	Acero inoxidable 304	-
Tipo de lavado	De burbujas	-

b. Troceadora T-01*Tabla 16. Características principales del dimensionamiento de la troceadora.*

Troceadora T-01		
Descripción	Valor	Unidad
Caudal de ingreso CN	125	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Potencia (catálogo)	0,75	$[kW]$
Largo (L)	0,75	$[m]$
Alto (H)	1,1	$[m]$
Ancho (A)	0,5	$[m]$
Peso	120	$[kg]$
Capacidad	200	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Material	Acero inoxidable 304	-

c. Secador S-01**Tabla 17.** Características principales del dimensionamiento del secador (Parte 1).

Secador S-01		
Descripción	Valor	Unidad
Densidad CN húmeda ρ_H	900	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Caudal de ingreso CN	121,4	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Volumen de cáscaras en una jornada	1,08	$[m^3]$
Sobredimensionamiento	20%	$[\%]$
Capacidad volumétrica teórica	1,30	$[m^3]$
Capacidad volumétrica (catálogo)	24,82	$[m^3]$
Profundidad (catálogo)	4,80	$[m]$
Altura (catálogo)	2,35	$[m]$
Ancho (catálogo)	2,20	$[m]$

Tabla 18. Características principales del dimensionamiento del secador (Parte 2).

Secador S-01		
Consumo energético		
Descripción	Valor	Unidad
Temperatura inicial CN	20	[°C]
Temperatura final CN	55	[°C]
Tiempo de secado	10	[h]
Cantidad de humedad inicial (Ya0)	0,02	$\left[\frac{kg (agua)}{kg (aire seco)} \right]$
Cantidad de humedad final (Yaf)	0,0295	$\left[\frac{kg (agua)}{kg (aire seco)} \right]$
Presión atmosférica	1	[atm]
Constante universal de los gases R	0,08206	$\left[\frac{atm m^3}{kg mol K} \right]$
Peso molecular del agua	18	$\left[\frac{g}{mol} \right]$
Peso molecular del aire	29	$\left[\frac{g}{mol} \right]$
Masa de CN que ingresan (m0)	971	[kg]
Masa de agua evaporada	756	[kg]
Calor específico del agua (Cw)	4,18	$\left[\frac{kJ}{kg ^\circ C} \right]$
Calor específico del vapor de agua (Cw,v)	2,01	$\left[\frac{kJ}{kg ^\circ C} \right]$
Calor específico del aire (Ca)	1	$\left[\frac{kJ}{kg ^\circ C} \right]$
Calor latente de vaporización (λ)	2270	$\left[\frac{kJ}{kg} \right]$
Calor ideal necesario	956171	[kJ]
Eficiencia	90%	[%]
Calor real necesario	1051788	[kJ]
Potencia teórica	33,2	[kW]
Potencia (catálogo)	60	[kW]

d. Tanque de almacenamiento A-01**Tabla 19.** Características principales del dimensionamiento del tanque de almacenamiento.

Tanque de almacenamiento A-01		
Descripción	Valor	Unidad
Densidad CN seca ρ_H	600	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Caudal de ingreso CN	266	$\left[\frac{kg}{día}\right]$
Esfuerzo máximo permisible CN	18	$\left[\frac{N}{m^2}\right]$
Eficiencia de la soldadura	80%	[%]
Aceleración gravitatoria	9,81	$\left[\frac{m}{s^2}\right]$
Presión atmosférica	101325	$\left[\frac{N}{m^2}\right]$
Volumen teórico	0,53	$[m^3]$
Diámetro teórico	0,66	[m]
Altura teórica	1,57	[m]
Volumen (catálogo)	0,5	$[m^3]$
Diámetro (catálogo)	0,60	[m]
Altura (catálogo)	1,00	[m]
Presión de operación	121653	$\left[\frac{N}{m^2}\right]$
Espesor de la pared t_w	4,8	[m]
Material	Acero inoxidable 304	-
Densidad del material	7850	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Espesor de la pared del terminal inferior t_b	19	[m]
Espesor de la pared del terminal superior t_u	2,8	[m]
Masa total del tanque	121,9	[kg]

e. Molino M-01*Tabla 20. Características principales del dimensionamiento del molino.*

Molino M-01		
Descripción	Valor	Unidad
Densidad CN seca ρ_H	600	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Caudal de ingreso CN	38,75	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Caudal de entrada de recirculación de CN	2,7	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Coefficiente de fricción μ	0,42	[-]
Diámetro de partícula al ingresar (Dt)	0,08	[m]
Diámetro de partícula deseado a la salida (Df)	0,002	[m]
Velocidad de los rodillos	3	[RPM]
Resistencia a la tensión de las CN secas (σ)	1830,54	$\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$
Ángulo de separación entre rodillos	46	[°]
Diámetro teórico del rodillo (Dr)	0,057	[m]
Longitud teórica de los rodillos	0,94	[m]
Torque teórico de los rodillos (T)	195308	[Nm]
Potencia teórica (P)	61	[kW]
Longitud (catálogo)	2,1	[m]
Altura (catálogo)	2,35	[m]
Ancho (catálogo)	0,12	[m]
Potencia (catálogo)	7,5	[kW]
Capacidad (catálogo)	450	$\left[\frac{kg}{h}\right]$

f. Tamizador TA-01**Tabla 21.** Características principales del dimensionamiento del tamizador.

Tamizador TA-01		
Descripción	Valor	Unidad
Caudal de ingreso CN	26,69	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Densidad del agua	1000	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Volumen del tamiz + 15%	0,021	$[m^3]$
Porcentaje de cribado grueso recirculado	10%	$[\%]$
Material	Acero inoxidable 304	-
Tipo de tamiz	vibratorio lineal	-
Potencia (catálogo)	1,5	$[kW]$
Largo (catálogo)	4	$[m]$
Ancho (catálogo)	1	$[m]$
Altura (catálogo)	0,8	$[m]$

g. Mezcladora ME-01**Tabla 22.** Características principales del dimensionamiento de la mezcladora.

Mezcladora ME-01		
Descripción	Valor	Unidad
Caudal de ingreso CN	33,5	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Caudal de ingreso PLA	134	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Densidad del PLA	1430	$\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
Tiempo de residencia	0,25	$[h]$
Volumen teórico	0,033	$[m^3]$
Volumen (catálogo)	1,9	$[m^3]$
Ancho (catálogo)	0,73	$[m]$
Largo (catálogo)	2,32	$[m]$
Altura (catálogo)	1,13	$[m]$
Velocidad de tornillos (catálogo)	40	$[RPM]$
Potencia (catálogo)	4	$[kW]$

h. Peletizadora P-01**Tabla 23.** Características principales del dimensionamiento de la peletizadora.

Peletizadora P-01		
Descripción	Valor	Unidad
Caudal de ingreso CN	33	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Caudal de ingreso PLÁ	131	$\left[\frac{kg}{h}\right]$
Diámetro deseado del pellet	5	[mm]
Cantidad de PLÁ en la mezcla	0,8	[-]
Cantidad de CN en la mezcla	0,2	[-]
Diámetro del tornilo	70	[mm]
Área del agujero Ah	20	[mm ²]
Velocidad de producción (v)	18,6	$\left[\frac{m}{s}\right]$
Número de hilos	400	-
Temperatura de operación	200	[°C]
Volumen teórico + 20%	0,35	[m ³]
Longitud teórica del barril	0,29	[m]
Radio teórico del barril	0,44	[m]
Potencia (catálogo)	55	[kW]
Diámetro del tornilo (catálogo)	0,063	[m]
Relación L/D (catálogo)	32	-
Altura (catálogo)	2	[m]

i. Bandas transportadoras B-i,**Tabla 24.** Dimensiones de las bandas transportadoras.

Bandas transportadoras	
Dimensionamiento	
Ancho de las banda [m]	0,5
Longitud de las banda [m]	10

Tabla 25. Características principales del dimensionamiento de las bandas transportadoras.

Descripción	Unidad	B-01	B-02	B-03
Caudal másico	$\left[\frac{kg}{h}\right]$	125	122	38
Caudal volumétrico	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	0,139	0,136	0,063
Velocidad mínima de la banda	$\left[\frac{m}{h}\right]$	0,028	0,027	0,013
Potencia (catálogo)	[kW]	1	1	1

j. Tornillos sin fin – T-i

Tabla 26. Características principales del dimensionamiento de los transportadores con tornillos sin fin.

Descripción	Unidad	T-01	T-02
Caudal másico	$\left[\frac{kg}{h}\right]$	34	165
Caudal volumétrico	$\left[\frac{m^3}{h}\right]$	0,06	0,13
Ángulo de inclinación α	$[^\circ]$	4	2
Longitud	$[m]$	10,02	10,01
Coefficiente de relleno λ	-	0,4	0,32
Diámetro de la carcasa d	$[m]$	0,3	0,4
Área transversal A	$[m^2]$	0,071	0,126
Velocidad de flujo v	$\left[\frac{m}{s}\right]$	0,80	1,04
Diámetro del tornillo	$[m]$	0,16	0,16
Velocidad del tornillo	$[RPM]$	70	70
Potencia teórica	$[kW]$	0,8	1,8
Potencia (catálogo)	$[kW]$	3	3

ANEXO D: RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO

D.1 Estimación de costos

Tabla 27. Estimación de costos de equipos por catálogo [13].

Costos por catálogo				
Equipo	Costo catálogo	Costo más importación	Unidades	Total
Balsa de Lavado (L-01)	\$ 1.699,00	\$ 2.378,60	1	\$ 2.378,60
Troceadora (TR-01)	\$ 980,00	\$ 1.372,00	1	\$ 1.372,00
Secador (S-01)	\$ 3.650,00	\$ 5.110,00	1	\$ 5.110,00
Tanque de almacenamiento (A-01)	\$ 2.500,00	\$ 3.500,00	1	\$ 3.500,00
Molino (M-01)	\$ 1.350,00	\$ 1.890,00	1	\$ 1.890,00
Tamiz (TA-01)	\$ 799,00	\$ 1.118,60	1	\$ 1.118,60
Mezcladora (ME-01)	\$ 700,00	\$ 980,00	1	\$ 980,00
Pelletizadora (P-01)	\$ 10.000,00	\$14.000,00	1	\$ 14.000,00
Bandas transportadoras (B-i)	\$ 800,00	\$ 1.120,00	3	\$ 3.360,00
Transportadores de tornillo sin fin (T-i)	\$ 1.000,00	\$ 1.400,00	2	\$ 2.800,00
Total	\$ 23.478,00	\$32.869,20		\$ 36.509,20

Tabla 28. Constantes para la estimación de costos de los equipos (Parte 1).

Table 6.6 Purchased equipment cost for common plant equipment							
Equipment	Units for size, S	S lower	S upper	a	b	n	Note
<i>Agitators & mixers</i>							
Propeller	driver power, kW	5.0	75	15,000	990	1.05	
Spiral ribbon mixer	driver power, kW	5.0	35	27,000	110	2.0	
Static mixer	Litres/s	1.0	50	500	1,030	0.4	
<i>Boilers</i>							
Packaged, 15 to 40 bar	kg/h steam	5,000	200,000	106,000	8.7	1.0	
Field erected, 10 to 70 bar	kg/h steam	20,000	800,000	110,000	45	0.9	
<i>Centrifuges</i>							
High speed disk	diameter, m	0.26	0.49	50,000	423,000	0.7	
Atmospheric suspended basket	power, kW	2.0	20	57,000	660	1.5	

Tabla 29. Constantes para la estimación de costos de los equipos (Parte 2).

Table 6.6 Purchased equipment cost for common plant equipment—cont'd							
Equipment	Units for size, S	S lower	S upper	a	b	n	Note
Compressors							
Blower	m ³ /h	200	5,000	3,800	49	0.8	
Centrifugal	driver power, kW	75	30,000	490,000	16,800	0.6	
Reciprocating	driver power, kW	93	16,800	220,000	2,300	0.75	
Conveyors							
Belt, 0.5 m wide	length, m	10	500	36,000	640	1.0	
Belt, 1.0 m wide	length, m	10	500	40,000	1,160	1.0	
Bucket elevator, 0.5m bucket	height, m	10	30	15,000	2,300	1.0	
Crushers							
Reversible hammer mill	t/h	30	400	60,000	640	1.0	
Pulverisers	kg/h	200	4,000	14,000	590	0.5	
Crystallizers							
Scraped surface crystallizer	length, m	7	280	8,400	11,300	0.8	
Distillation columns							
See pressure vessels, packing and trays							
Dryers							
Direct contact Rotary	area, m ²	11	180	13,000	9,100	0.9	1
Atmospheric tray batch	area, m ²	3.0	20	8,700	6,800	0.5	2
Spray dryer	evap rate kg/h	400	4,000	350,000	1,900	0.7	
Evaporators							
Vertical tube	area, m ²	11	640	280	30,500	0.55	
Agitated Falling film	area, m ²	0.5	12	75,000	56,000	0.75	
Exchangers							
U-tube shell and tube	area, m ²	10	1,000	24,000	46	1.2	
Double pipe	area, m ²	1.0	80	1,600	2,100	1.0	
Thermosyphon reboiler	area, m ²	10	500	26,000	104	1.1	
U-tube Kettle reboiler	area, m ²	10	500	25,000	340	0.9	
Plate and frame	area, m ²	1.0	500	1,350	180	0.95	3
Filters							
Plate and frame	capacity, m ³	0.4	1.4	110,000	77,000	0.5	
Vacuum drum	area, m ²	10	180	-63,000	80,000	0.3	
Furnaces							
Cylindrical	duty, MW	0.2	60	68,500	93,000	0.8	
Box	duty, MW	30	120	37,000	95,000	0.8	
Packings							
304 ss Raschig rings	m ³			0	7,300	1.0	
Ceramic intalox saddles	m ³			0	1,800	1.0	
304 ss Pall rings	m ³			0	7,700	1.0	

Tabla 30. Constantes para la estimación de costos de los equipos (Parte 3).

Table 6.6 Purchased equipment cost for common plant equipment—cont'd							
Equipment	Units for size, S	S lower	S upper	a	b	n	Note
PVC structured packing	m3			0	500	1.0	
304 ss structured packing	m3			0	6,900	1.0	4
Pressure vessels							
Vertical, cs	shell mass, kg	160	250,000	10,000	29	0.85	5
Horizontal, cs	shell mass, kg	160	50,000	8,800	27	0.85	
Vertical, 304 ss	shell mass, kg	120	250,000	15,000	68	0.85	5
Horizontal, 304 ss	shell mass, kg	120	50,000	11,000	63	0.85	
Pumps and drivers							
Single stage centrifugal	flow Litres/s	0.2	126	6,900	206	0.9	
Explosion proof motor	power, kW	1.0	2,500	-950	1,770	0.6	
Condensing steam turbine	power, kW	100	20,000	-12,000	1,630	0.75	
Reactors							
Jacketed, agitated	volume, m3	0.5	100	53,000	28,000	0.8	3
Jacketed, agitated, glass lined	volume, m3	0.5	25	11,000	76,000	0.4	
Tanks							
floating roof	capacity, m3	100	10,000	97,000	2,800	0.65	
cone roof	capacity, m3	10	4,000	5,000	1,400	0.7	
Trays							
Sieve trays	diameter, m	0.5	5.0	110	380	1.8	6
Valve trays	diameter, m	0.5	5.0	180	340	1.9	6
Bubble cap trays	diameter, m	0.5	5.0	290	550	1.9	6
Utilities							
Cooling tower & pumps	flow Litres/s	100	10,000	150,000	1,300	0.9	7
Packaged mechanical refrigerator	evaporator duty, kW	50	1,500	21,000	3,100	0.9	
Water ion exchange plant	flow m3/h	1	50	12,000	5,400	0.75	
<i>Notes</i>							
1. Direct heated.							
2. Gas fired.							
3. Type 304 stainless steel.							
4. With surface area $350 \text{ m}^2/\text{m}^3$.							
5. Not including heads, ports, brackets, internals, etc. (see Chapter 13 for how to calculate wall thickness).							
6. Cost per tray, based on a stack of 30 trays.							
7. Field assembly.							
8. All costs are U.S. Gulf Coast basis, Jan. 2007 (CE index (CEPCI) = 509.7, NF refinery inflation index = 2059.1).							

Tabla 31. Cálculo de los costos de los equipos usando metodología.

Costos por metodología								
Equipo	Unidad de referencia	S	a	b	n	Cei	Unidades	CeT
Balsa de Lavado (L-01)	[m ³]	0,0025	5000	1400	0,7	\$ 5.021,12	1	\$ 5.021,12
Troceadora (TR-01)	[m ³]	0,0023	5000	1400	0,7	\$ 5.019,99	1	\$ 5.019,99
	[kW]	0,75	15000	990	1,1	\$ 15.731,90	1	\$ 15.731,90
Secador (S-01)	[mW]	0,033	7000	71000	0,8	\$ 11.657,71	1	\$ 11.657,71
Tanque de almacenamiento (A-01)	[m ³]	0,53	5700	700	0,7	\$ 6.150,28	1	\$ 6.150,28
Molino (M-01)	$\left[\frac{ton}{h}\right]$	0,041	400	9900	0,5	\$ 2.414,65	1	\$ 2.414,65
Tamiz (TA-01)	[m]	2	110	380	1,8	\$ 1.433,24	1	\$ 1.433,24
	[m ³]	0,00035	5000	1400	0,7	\$ 5.005,32	1	\$ 5.005,32
Mezcladora (ME-01)	$\left[\frac{L}{s}\right]$	0,042	500	1030	0,4	\$ 788,68	1	\$ 788,68
Pelletizadora (P-01)	[kW]	55,000	-950	1770	0,6	\$ 18.647,06	1	\$ 18.647,06
	$\left[\frac{L}{s}\right]$	0,036	500	1030	0,4	\$ 772,30	1	\$ 772,30
Bandas transportadoras (B-i)	[m]	10	36000	640	1,0	\$ 42.400,00	3	\$ 127.200,00
Transportadores de tornillo sin fin (T-i)	$\left[\frac{L}{s}\right]$	0,02	500	1030	0,4	\$ 723,25	2	\$ 1.446,50
Total						\$ 115.765,50	Total	\$ 201.288,75

Tabla 32. Factores de instalación de la metodología propuesta por Hand [33].

Equipment type	Installation factor
Compressors	2.5
Distillation columns	4
Fired heaters	2
Heat exchangers	3.5
Instruments	4
Miscellaneous equipment	2.5
Pressure vessels	4
Pumps	4

Tabla 33. Factores de costo según el material utilizado [33].

Material	f_m
Carbon steel	1.0
Aluminum and bronze	1.07
Cast steel	1.1
304 stainless steel	1.3
316 stainless steel	1.3
321 stainless steel	1.5
Hastelloy C	1.55
Monel	1.65
Nickel and Inconel	1.7

Tabla 34. Factores para el método de estimación de costos factorial detallado [33].

Table 6.4 Typical factors for estimation of project fixed capital cost			
Item	Process type		
	Fluids	Fluids – solids	Solids
1. Major equipment, total purchase cost	C_e	C_e	C_e
f_{er} Equipment erection	0.3	0.5	0.6
f_p Piping	0.8	0.6	0.2
f_i Instrumentation and control	0.3	0.3	0.2
f_{el} Electrical	0.2	0.2	0.15
f_c Civil	0.3	0.3	0.2
f_s Structures and buildings	0.2	0.2	0.1
f_j Lagging and paint	0.1	0.1	0.05
ISBL cost, $C = \Sigma C_e \times$	3.3	3.2	2.5
Offsites (OS)	0.3	0.4	0.4
Design and Engineering (D&E)	0.3	0.25	0.2
Contingency (X)	0.1	0.1	0.1
Total fixed capital cost $C_{FC} = C (1 + OS)(1 + D\&E + X)$			
$= C \times$	1.82	1.89	1.82
$= \Sigma C_e \times$	6.00	6.05	4.55

Tabla 35. Resultados de la estimación de costos por el método de Lang, Hand y el factorial detallado.

Equipo	Costo catálogo	Costos por metodología	ΔCe [S]	% Δce	Ce	Factor de Lang fL	Costo Lang CLi	Factor del material	Factor de Hand fH	Costo Hand CH	fp	fer	fel	fi	fs	fl	CISBLi	
Balsa de Lavado (L-01)	\$ 2.378,60	\$ 5.021,12	-2643	-111%	\$ 2.378,60	4	\$ 9.514,40	1,3	4	\$ 12.368,72	0,8	0	0,2	0,3	0	0,1	\$ 6.993,08	
Troceadora (TR-01)	\$ 1.372,00	\$ 20.751,88	-19380	-1413%	\$ 1.372,00	3	\$ 4.116,00	1,3	2,5	\$ 4.459,00	0	0,6	0,15	0,2	0	0,05	\$ 3.155,60	
Secador (S-01)	\$ 5.110,00	\$ 11.657,71	-6548	-128%	\$ 5.110,00	4	\$ 20.440,00	1,3	3,5	\$ 23.250,50	0,6	0	0,2	0,3	0,2	0,1	\$ 14.716,80	
Tanque de almacenamiento (A-01)	\$ 3.500,00	\$ 6.150,28	-2650	-76%	\$ 4.825,14	3	\$ 14.475,42	1,3	4	\$ 25.090,73	0	0,6	0,15	0,2	0,1	0,05	\$ 11.580,34	
Molino (M-01)	\$ 1.890,00	\$ 2.414,65	-525	-28%	\$ 2.152,33	3	\$ 6.456,98	1,3	2,5	\$ 6.995,06	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,05	\$ 5.380,82	
Tamiz (TA-01)	\$ 1.118,60	\$ 6.438,56	-5320	-476%	\$ 1.118,60	3	\$ 3.355,80	1,3	2,5	\$ 3.635,45	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,05	\$ 2.796,50	
Mezcladora (ME-01)	\$ 980,00	\$ 788,68	191	20%	\$ 884,34	3	\$ 2.653,02	1,3	4	\$ 4.598,56	0	0,6	0,15	0,2	0,2	0,05	\$ 2.210,85	
Pelletizadora (P-01)	\$14.000,00	\$ 19.419,36	-5419	-39%	\$16.709,68	4	\$ 66.838,72	1,3	4	\$ 86.890,33	0,6	0,5	0,2	0,3	0,2	0,1	\$ 56.478,71	
Bandas transportadoras (B-i)	\$ 3.360,00	\$127.200,00	-123840	-3686%	\$ 3.360,00	3	\$ 10.080,00	1,3	2,5	\$ 10.920,00	0	0	0,15	0,2	0,2	0,05	\$ 6.384,00	
Transportadores de tornillo sin fin (T-i)	\$ 2.800,00	\$ 1.446,50	1354	48%	\$ 2.123,25	3	\$ 6.369,75	1,3	2,5	\$ 6.900,56	0,2	0,6	0,15	0,2	0,1	0,05	\$ 5.647,84	
Total Ce					\$40.033,93	CL	\$144.300,08	CH	\$ 185.108,92								CISBL	\$ 115.344,54

D.2. Evaluación de rentabilidad del proyecto

Tabla 36. Cálculo del capital fijo del proyecto

ISBL	\$	148.251,18
OSBL	\$	59.300,47
Costos de ingeniería, diseño y construcción	\$	31.132,75
Costos para imprevistos	\$	20.755,17
Capital fijo	\$	259.439,57

Tabla 37. Cálculo de los costos del capital de trabajo.

Cálculo del capital de trabajo		
Descripción	Valor	Unidad
Costo del ácido poliláctico en el mercado	2240	$\left[\frac{\$}{ton} \right]$
Costo del transporte de las cáscaras de naranja	250	$\left[\frac{\$}{ton} \right]$
Costo del agua de lavado	7,14	$\left[\frac{\$}{ton} \right]$
Costo de producción del bioplástico	2071	$\left[\frac{\$}{ton} \right]$
Margen de ganancia	75%	
Precio de venta bioplástico	3624	$\left[\frac{\$}{ton} \right]$
Caudal de ingreso de PLA	1,07	$\left[\frac{ton}{día} \right]$
Caudal de ingreso de CN	1	$\left[\frac{ton}{día} \right]$
Caudal de ingreso de agua	0,08	$\left[\frac{ton}{día} \right]$
Producción de bioplástico	1,28	$\left[\frac{ton}{día} \right]$
Inventario de materias primas	\$ 26.545,49	-
Inventario de productos	\$ 46.454,62	-
Efectivo en caja	\$ 23.227,31	-
Cuentas a cobrar	\$ 92.909,23	-
Créditos de cuentas pendientes	\$ 53.090,99	-
Inventario de repuestos	\$ 3.113,27	-
Capital de trabajo	\$ 245.340,92	-

Tabla 38. Flujo de caja del proyecto usando una depreciación lineal.**Método Lineal**

Año	Beneficio bruto [k\$]	Cargas de depreciación Di [k\$]	Ingresos gravables [k\$]	Impuestos pagados [k\$]	Flujo de caja [k\$]	Flujo caja acumulativo [k\$]	Factor de descuento (1+i) ⁻ⁿ	Valor actual del CF [k\$]
0	0	0	0	0	-259,44	-259,44	1,0	-259,44
1	120,06	25,94	94,12	0,00	120,06	-139,38	0,9	108,94
2	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	-30,61	0,8	89,55
3	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	78,15	0,7	81,25
4	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	186,92	0,7	73,72
5	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	295,69	0,6	66,89
6	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	404,45	0,6	60,70
7	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	513,22	0,5	55,07
8	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	621,99	0,5	49,97
9	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	730,75	0,4	45,34
10	120,06	25,94	94,12	11,29	108,77	839,52	0,4	41,14
VAN								413,15

Tabla 39. Flujo de caja del proyecto usando la depreciación MACRS.**Método MACRS**

Año	Beneficio bruto [k\$]	Cargas de depreciación Di [k\$]	Ingresos gravables [k\$]	Impuestos pagados [k\$]	Flujo de caja [k\$]	Flujo caja acumulativo [k\$]	Factor de descuento (1+i) ⁻ⁿ	Valor actual del CF [k\$]
0	0	0	0	0	-259,44	-259,44	1,0	-259,44
1	120,06	14,29	105,77	0,00	120,06	-139,38	0,9	108,94
2	120,06	24,49	95,57	12,69	107,37	-32,01	0,8	88,40
3	120,06	17,49	102,57	11,47	108,59	76,58	0,7	81,12
4	120,06	12,49	107,57	12,31	107,75	184,33	0,7	73,04
5	120,06	8,93	111,13	12,91	107,15	291,49	0,6	65,90
6	120,06	8,92	111,14	13,34	106,73	398,21	0,6	59,56
7	120,06	8,93	111,13	13,34	106,72	504,93	0,5	54,04
8	120,06	4,46	115,60	13,34	106,73	611,66	0,5	49,03
9	120,06	0	120,06	13,87	106,19	717,85	0,4	44,27
10	120,06	0	120,06	14,41	105,65	823,50	0,4	39,96
VAN								404,82

D.3. Análisis de flexibilidad

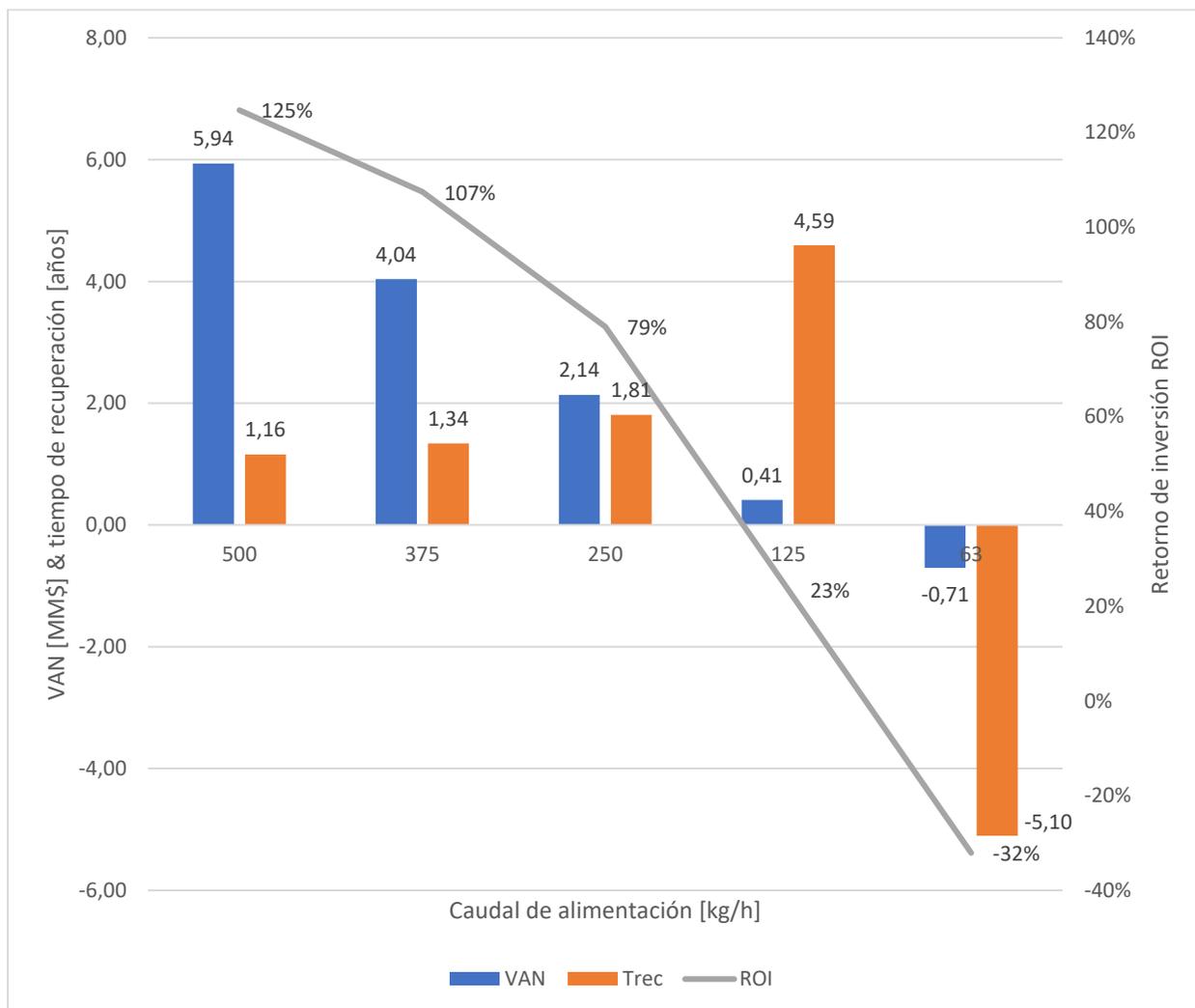


Figura 10. Análisis de flexibilidad con respecto al caudal de CN frescas alimentadas.

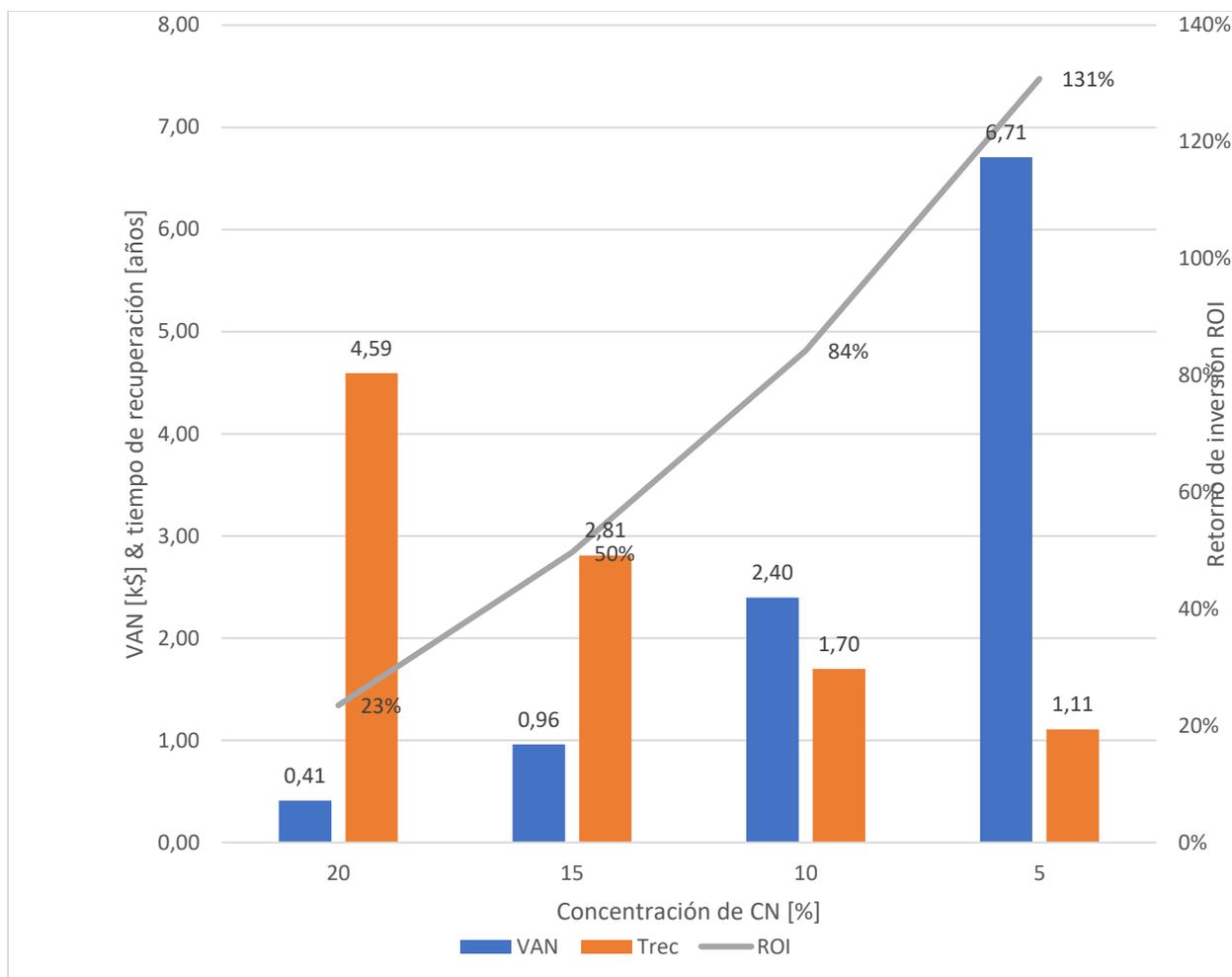


Figura 11. Análisis de flexibilidad con respecto a la concentración de cáscaras de naranja.

ANEXO E: COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS

E.1. Cotización de la balsa de lavado L-01

Home / All Industries / Industrial Machinery / Food & Beverage Machinery / Fruit & Vegetable Processing Machines_n / Fruit & Vegetable washing equipments



LEILA MACHINERY

View larger image








Add to Compare
 Share

LEILA Multi Functional Bubble Vegetable Cleaning Machine Vegetable Washer Fruit Washing Processing line Seafood Washing line

★★★★★ 5.0 1 Reviews 1 buyer

No.10 Most popular in [Vegetable Washer](#)

1 - 4 sets	5 - 8 sets	>= 9 sets
\$1,699.00	\$1,499.00	\$1,199.00

Benefits: Quick refunds on orders under US \$500 [View more >](#)

Machinery Capacity: 100-450kg/h

Samples: 100-450kg/h
\$3,050.00/set Min. order : 1 set [Get samples](#)

Lead time:

Quantity (sets)	1 - 5	> 5
Lead time (days)	15	To be negotiated

Customization: Customized logo (Min. order 1 set)
 Customized packaging (Min. order 1 set)
 More

Overview

Essential details

Condition:	New	Applicable Industries:	Hotels, Food & Beverage Factory, Farms, Restaurant,...
Showroom Location:	Brazil, Saudi Arabia, Mexico, Russia, None	Video outgoing-inspection:	Provided
Machinery Test Report:	Provided	Marketing Type:	New Product 2020
Core Components:	PLC, Engine, Bearing	Warranty of core components:	1 Year
Place of Origin:	Shandong, China	Model Number:	QX-400
Power:	0.75 kw	Voltage:	Customized
Weight:	400 KG	Dimension(L*W*H):	4000*1500*1400mm
Application fields:	Fruit processing plant, Vegetable processing plant	Warranty:	1 Year
Key Selling Points:	Long Service Life	Raw material:	Fruit, Vegetables
Package:	Standard Wooden Case	Usage:	Commercial Usage
Waterproof grade:	IPXI	Feature:	Automatic Production
Material:	304 SUS	Product name:	Bubble cleaning washer machine
COLOR:	Stainless Steel Color	Application:	Vegetable Fruit Washing Machine
		Speed:	Adjustable Controlled

E.2. Cotización de la troceadora TR-01

Home / All Industries / Industrial Machinery / Food & Beverage Machinery / Fruit & Vegetable Processing Machines_n / Other Fruit & Vegetable Machines



View larger image



Add to Compare Share

Potato Washer Peeler Slicer/potato All-in-one Machine/potato Washing Peeling Slicing Machine
1 buyer

1 - 2 sets	3 - 9 sets	>= 10 sets
\$980.00	\$920.00	\$860.00

Benefits: Quick refunds on orders under US \$500 [View more >](#)

Model Number:

Samples: ACMQ200
\$980.00/set Min. order : 1 set [Get samples](#)

Lead time: 1

Quantity (sets)	1 - 5	6 - 30	> 30
Lead time (days)	15	45	To be negotiated

Customization: Customized logo (Min. order 1 set)
Customized packaging (Min. order 1 set)
More v

Purchase details Protection with Trade Assurance

Shipping: [Contact supplier](#) to negotiate shipping details
[Enjoy On-time Dispatch Guarantee](#) 🕒

Payments: ...
Enjoy encrypted and secure payments [View details](#)

Overview

Essential details

Applicable Industries:	Hotels, Food & Beverage Factory, Farms, Restaurant,...	Showroom Location:	Russia, Japan
Machinery Test Report:	Provided	Video outgoing-inspection:	Provided
Core Components:	Motor	Marketing Type:	New Product 2020
Place of Origin:	Henan, China	Warranty of core components:	1 Year
Type:	peeling and cutting machine	Condition:	New
Power:	0.75kw	Brand Name:	Ultron
Dimension(L*W*H):	750*500*1100mm	Voltage:	220v/380v
Warranty:	1 Year	Weight:	120 KG
Material:	Stainless Steel 304	Year:	2019
Package:	Standard Wooden Packaging	Product name:	industrial potato peeler
Feature:	Easy Operation	Application:	washing peeling cutting
Related machine:	vegetable cutting machine	Capacity:	100-200kg/h
Certificate:	CE ISO	MOQ:	1 Set
		Delivery time:	15days

E.3. Cotización de la secadora S-01



View larger image

Add to Compare Share

Electric Food Fruit Dehydrator Industrial Tray Dryer Yacon Vegetable Drying Oven Machine with 80 Trays

>= 1 sets
\$3,650.00

Benefits: Quick refunds on orders under US \$500 [View more >](#)

Model Number: NOM-C-1 NOM-C-2 NOM-C-3 [View all 6 options >](#)

Samples: NOM-C-1
\$11,000.00/set Min. order : 1 set [Get samples](#)

Lead time: Quantity (sets) 1 - 1 > 1
Lead time (days) 5 To be negotiated

Customization: [Graphic customization \(Min. order 1 set\)](#)
[Customized packaging \(Min. order 1 set\)](#)
[More >](#)

Essential details	
Type:	Drying Equipment
Condition:	New
Brand Name:	OrangeMech
Power:	50KW
Key Selling Points:	Multifunctional
Weight (KG):	1220
Showroom Location:	None
Machinery Test Report:	Provided
Warranty of core components:	1 Year
Heating Method:	Electric Heating
Name:	Industrial Dryer Machine
Usage:	Industrial Usage
Temperature range:	RT~250C
MOQ:	1 Set
Heating source:	Electricity
Application:	Food Processing
Place of Origin:	Henan, China
Voltage:	220V/380V
Dimension(L*W*H):	2430*1200*2300
Warranty:	1 Year
Applicable Industries:	Food & Beverage Factory
Marketing Type:	Available
Video outgoing-inspection:	Provided
Core Components:	Motor
Evaporation Capacity(kg/h):	100
Material:	SUS304, Other, Stainless Steel
Function:	Food Vegetable Fruit Dehydrator
Dryig process:	Continuous Automatic Drying
Advantage:	Low Consumption High Efficiency
Power supply:	380V/50Hz

Specification

Model	Dimension	Door	Baking car	Baking plate	Batch yield	Fan	Power	Net weight
NOM-C-1	1600*1200*2350	1	1	14	74	2	12	470
NOM-C-2	2500*1200*2350	2	2	48	144	2	18	760
NOM-C-3	2500*2200*2350	2	4	96	288	3	30	1000
NOM-C-4	3500*2200*2350	3	6	144	432	4	48	1650
NOM-C-5	4800*2200*2350	4	8	192	576	6	60	2000

E.4. Cotización del tanque de almacenamiento A-01

Home / All Industries / Industrial Machinery / Chemical & Pharmaceutical Machinery / Chemical Machinery & Equipment / Chemical Storage Equipment



[View larger image](#)



[Share](#)

Ready to Ship ⊗ In Stock ⊗ Fast Dispatch

500L open type storage tank

1 - 2 sets	3 - 4 sets	>= 5 sets
\$2,500.00	\$2,300.00	\$2,200.00

Benefits: Quick refunds on orders under US \$500 [View more >](#)

Model Number 500L \$2500.00

Lead time: ⓘ

Quantity (sets)	1 - 2	> 2
Lead time (days)	15	To be negotiated

Purchase details Protection with Trade Assurance

Shipping: Estimated delivery by **5/25-7/5** via [Seller's Shipping Method 1](#)

Payments: ...

Enjoy encrypted and secure payments [View details](#)

Returns & Refunds: Eligible for returns and refunds [View details](#)

Overview

Essential details

Condition:	New	Applicable Industries:	Manufacturing Plant, Machinery Repair Shops
Max Working Pressure(MPa):	0 MPa	Capacity:	50L
Brand Name:	kenchi	Place of Origin:	China
Weight:	50 KG	Dimension(L*W*H):	0.6*0.6*1
Key Selling Points:	Long Service Life	Warranty:	1 Year
Material:	SUS 304	Showroom Location:	None
Dimension:	660*600*1000mm	Standard:	ISO 9001
After-sales Service Provided:	Field installation, commissioning and training, Field m...	Pressure:	0Mpa
Local Service Location:	None	After Warranty Service:	Video technical support
		Certification:	CE

E.5. Cotización del molino M-01

Home / All Industries / Industrial Machinery / Food & Beverage Machinery / Grain Processing Machinery / Flour Mill



Self priming flour grinding machine maize corn bean grinder machine for farms

1 - 9 sets **\$1,350.00** >= 10 sets **\$1,050.00**

Benefits: 3-day coupon giveaway: up to US \$80 off [View more >](#)

Model Number: **LH-FFC37**

Lead time: [🕒](#)

Quantity (sets)	1 - 1	> 1
Lead time (days)	8	To be negotiated

Customization: Customized logo (Min. order 1 set)
Customized packaging (Min. order 1 set)
More [v](#)

[View larger image](#)



Add to Compare [Share](#)

Purchase details Protection with Trade Assurance

Shipping: [Contact supplier](#) to negotiate shipping details
Enjoy [On-time Dispatch Guarantee](#) [🕒](#)

Payments: [...](#)
Enjoy encrypted and secure payments [View details](#)

Returns & Refunds: Eligible for returns and refunds [View details](#)

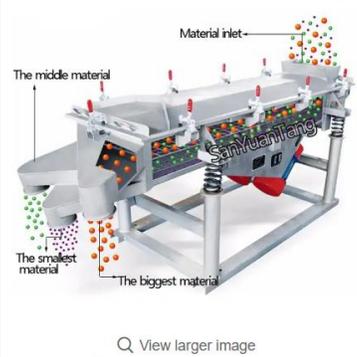
Overview

Essential details

Applicable Industries:	Manufacturing Plant, Food & Beverage Factory, Farm...	Showroom Location:	United States, Viet Nam, Brazil, Indonesia, Kenya, So...
Place of Origin:	Henan, China	Condition:	New
Production Capacity:	440kg/h	Brand Name:	LongHu
Weight:	200 KG	Voltage:	220v/380V
Warranty:	1 Year	Power:	7.5-11KW
Machinery Test Report:	Provided	Dimension(L*W*H):	190*70*190cm
Warranty of core components:	1 Year	Marketing Type:	New Product 2023
Application:	Food Flour Grinding Mill Machine	Video outgoing-inspection:	Provided
Function:	Multifunction Flour Grinder	Core Components:	Other
Usage:	Powder Milling	Key Selling Points:	Multifunctional
Capacity:	450kg/h	Raw material:	Wheat Maize Corn Rice
Processing:	Full-automatic Milling Machine	Final products:	Super Fine Maize Flour
		Type:	Maize Corn Milling Machine Plant
		Color:	Customer Demand
		Processing type:	Cleaning-milling-packing

Model	LH-FC37	LH-FC45	LH-FC55	LH-FC60
Capacity	450KG/H	650KG/H	1.3T/H	2T/H
Power	7.5KW	11KW	15KW	22KW

E.6. Cotización del tamizador TA-01



View larger image







Add to Compare Share

Multi layers coffee beans seeds linear vibrating screen grading sieve machine

No.14 Most popular in [Linear Vibrating For Separation Screening](#)

[View More](#)

FOB Reference Price: [Get latest price](#)

\$799.00 - \$5,500.00 / set | 1 set/sets (Min. order)

Benefits: 3-day coupon giveaway: up to US \$80 off [View more >](#)

Model Number

Power

Lead time:

Quantity (sets)	1 - 2	> 2
Lead time (days)	15	To be negotiated

Customization: Customized logo (Min. order 1 set)
Customized packaging (Min. order 1 set)
[More >](#)

Essential details	
Applicable Industries:	Manufacturing Plant, Food & Beverage Factory, Retail...
Machinery Test Report:	Provided
Core Components:	Motor
Type:	LINEAR
Place of Origin:	Henan, China
Dimension(L*W*H):	800*4000*1000
Warranty:	1 Year
Name:	coffee beans seeds linear vibrating screen grading ma...
Operation:	Easy Operation
Function:	Screening/separation/sorting/sieving
Cleaning system:	Bouncing Ball Cleaning System
Showroom Location:	None
Video outgoing-inspection:	Provided
Marketing Type:	New Product 2020
Warranty of core components:	1.5 years
Condition:	New
Application:	Food Processing
Brand Name:	SANYUANTANG
Weight:	600 KG
Keyword:	linear vibrating screen
Material:	Contact macterial part is SS304
Machine type:	Screening Machine
Usage:	Separation Screening
Advantage:	High Output

PRODUCT DETAILS							
Technical Parameters of linear vibrating screen							
Model	SYZ-520	SYZ-525	SYZ-530	SYZ-1020	SYZ-1025	SYZ-1030	SYZ-1225
Dimension (mm)	500×2000	500×2500	500×3000	1000×2000	1000×2500	1000×3000	1200×2500
Material diameter (mm)	0.074-20	0.074-20	0.074-20	0.074-40	0.074-40	0.074-40	0.074-40
Shake frequency (time/min)	960	960	960	960	960	960	960
Gradient	1-7	1-7	1-7	1-7	1-7	1-7	1-7
Amplitude	1-4.5	1-4.5	1-4.5	1-4.5	1-4.5	1-4.5	1-4.5
The layer number	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6	11-6	1-6
Power(kw)	2×(0.37-0.75)	2×(0.37-0.75)	2×(0.37-0.75)	2×(0.75-1.1)	2×(0.75-1.5)	2×(0.75-1.5)	2×(0.75-1.5)

E.7. Cotización de la mezcladora ME-01

Home / All Industries / Industrial Machinery / Chemical & Pharmaceutical Machinery / Chemical Machinery & Equipment / Mixing Equipment



300 liter horizontal twin screw mixer for dry powder

>= 1 sets
\$700.00



View larger image

Add to Compare
 Share

Benefits: Quick refunds on orders under US \$500 [View more >](#)

Model Number ST-0.5

Lead time: Ⓞ

Quantity (sets)	1 - 1	> 1
Lead time (days)	5	To be negotiated

Customization: Customized logo (Min. order 1 set)
Customized packaging (Min. order 1 set)
[More >](#)

Purchase details Protection with Trade Assurance

Shipping: [Contact supplier to negotiate shipping details](#)
Enjoy **On-time Dispatch Guarantee** Ⓞ

Payments: [View details](#)
Enjoy encrypted and secure payments [View details](#)

Returns & Refunds: Eligible for returns and refunds [View details](#)

Essential details	
Mixer Type:	Ribbon
Material Processed:	Plastics, Chemicals, Food, Medicine
Range of Spindle Speed(r.p.m):	30 - 40 r.p.m
Weight (KG):	500 KG
Condition:	New
Application:	Powder
Place of Origin:	Henan, China
Voltage:	120V/220V/380V/440V, 110V-480V
Power (kW):	3 kW
Key Selling Points:	Multifunctional
Showroom Location:	Viet Nam, Philippines, Indonesia, Thailand, Malaysia
Machinery Test Report:	Provided
Warranty of core components:	1 Year
Function:	Mixer Blender
Application scope:	Chemical Cosmetic Food Pharmacy
Capacity:	Customized
Control:	Electronic Control
Barrel Volume (L):	500
Max. Loading Volume (L):	2000 L
Max. Loading Capacity:	2000L
Material:	SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L
Product Type:	Detergent Powder
Additional Capabilities:	agitator with mixing
Brand Name:	SUNTECH
Dimension(L*W*H):	1190*740*770
Warranty:	1 Year
Applicable Industries:	Manufacturing Plant, Food & Beverage Factory, Home...
Marketing Type:	Ordinary Product
Video outgoing-inspection:	Provided
Core Components:	Motor, Gearbox, Bearing, Engine
Product name:	300 liter horizontal twin screw mixer for dry powder
Usage:	Mixing Powder Products
Mixing type:	Double Ribbon Mixer
Structure:	Main Tank
Advantage:	Easy Operation High Efficiency

PRODUCT SPECIFICATIONS									
Model specification	ST-0.1	ST-0.3	ST-0.5	ST-1	ST-1.5	ST-2	ST-3	ST-4	ST-6
One-time mixing(kg)	30-50	100-150	200-300	400-600	600-900	800-1200	1200-1800	1600-2400	2400-3600
Motor power (kg)	1.5-4	3-3.5	4-11	7.5-15	11-18.5	15-22	18.5-30	22-37	37-55
Size(mm)* Max-diameter* High	1190*740*770	2030*630*980	2320*730*1130	2800*920*1320	3180*1120*1640	3310*1120*1640	3750*1290*1820	4220*1400*1990	4700*1610*2260
Equipment weight(kg)	300	500	900	1400	1900	2500	3100	3600	5300

E.8. Cotización de la peletizadora P-01



View larger image



Add to Compare Share

PLA corn starch biodegradable plastic machine extruder granulating production line

FOB Reference Price: [Get latest price](#)

\$10,000.00 - \$120,000.00 / set | 1 set/sets (Min. order)

Benefits: US \$500 coupons [View more >](#)

Output (kg/h)

Model Number

Lead time: ^①

Quantity (sets)	1 - 1	> 1
Lead time (days)	60	To be negotiated

Purchase details Protection with Trade Assurance

Shipping: [Contact supplier](#) to negotiate shipping details
Enjoy **On-time Dispatch Guarantee**

Payments:

Enjoy encrypted and secure payments [View details](#)

Essential details

Condition: New	Plastic Processed: Polylactic Acid
Application: Granules	Screw Design: Double-screw
Twin Screw Type: Co-rotating Parallel Twin-screw	Screw Material: 38CrMoALA
Screw diameter (mm): 35.6	Screw L/D Ratio: 48:1
Showroom Location: None	Screw Speed (rpm): 600 rpm
Brand Name: YongJie	Place of Origin: Jiangsu, China
Dimension(L*W*H): Model	Voltage: 380V 50HZ
Weight: 1 KG	Power (kW): 18.5
Key Selling Points: Automatic	Warranty: 1 Year
Video outgoing-inspection: Provided	Applicable Industries: Manufacturing Plant
Core Components: Motor, Gearbox	Warranty of core components: 1 Year
Name: YongJie	Machinery Test Report: Provided
RPM (r/min): 500/600	Color: any color as your require
T/N: 5.1/5.2	Torque(N.m): 405/415
Motor brand: SIENEMS BEIDE	Inverter: ABB Brand
Screen changer: Manual	Vacuum degassing: 0.75kw
Marketing Type: Hot Product 2019	Function: compounding and filling of biodegradable plastic

Model	Diameter(mm)	L/D	RPM (r/min)	Power (Kw)	Torque(N.m)	T/N	Capacity (Kg/h)
SJSL-20	20	32-44	600	5.5	30	4.8	6.5-15
SJSL-36	36	32-48	600	15	115	4.2	30-75
SJSL-51A	51	32-52	500	45	405	5.1	100-200
SJSL-51B	51	32-52	600	55	415	5.2	150-25
SJSL-63A	63	32-62	400	55	620	4.4	160-250
			500	75	675	4.8	200-300
SJSL-63B	63	32-64	600	90	675	4.8	225-375
			800	110	620	4.4	300-500
SJSL-75A	72	32-64	400	90	1015	4.7	225-350
			500	110	1005	4.6	300-550
SJSL-75B	72	32-64	600	132	990	4.6	400-650
			800	160	900	4.2	480-800
SJSL-92A	92	32-64	400	250	2815	5.9	650-1050
			500		2250	4.7	750-1250
SJSL-92B	92	32-64	600	280	2365	5.0	900-1500
			800		2250	4.7	1200-2000
SJSL-135A	135	32-48	400	315	6190	4.6	1500-2500
SJSL-135B	135	32-48	500	400	6750	5.1	200-3500

E.9. Cotización de las bandas transportadoras B-i

Home / All Industries / Material Handling / Transporting / Conveyors



Large dip Angle feeding belt conveyor Dryer feeding belt conveyor
 FOB Reference Price: [Get latest price](#)

\$800.00 - \$15,000.00 / set | 1 set/sets (Min. order)

Benefits: Quick refunds on orders under US \$500 [View more >](#)

Type: Screw conveyor Other

Samples: Other
\$1,000.00/set | Min. order : 1 set | [Get samples](#)

Lead time:

Quantity (sets)	1 - 5	> 5
Lead time (days)	15	To be negotiated

Customization: Customized logo (Min. order 1 set)
 Graphic customization (Min. order 1 set)
 More >

Add to Compare Share

Purchase details Protection with Trade Assurance

Overview

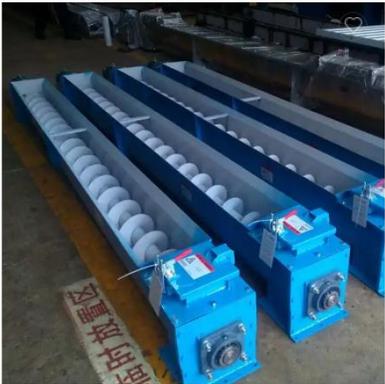
Essential details

Applicable Industries:	Hotels, Garment Shops, Building Material Shops, Mac...	Showroom Location:	None
Material:	Stainless steel	Condition:	New
Structure:	Belt conveyor	Material Feature:	Heat Resistant
Brand Name:	zhongtian	Place of Origin:	Shandong, China
Power:	0.4kW-22kW	Voltage:	110/220/380V
Warranty:	1 Year	Dimension(L*W*H):	customized
Machinery Test Report:	Not Available	Width or Diameter:	300mm or customized
Marketing Type:	New Product 2021	Video outgoing-inspection:	Provided
Core Components:	Bearing, Gear, Gearbox	Warranty of core components:	1 Year
Product name:	belt conveyor machine	Weight (KG):	100 kg
Keyword:	Low Cost Screw Conveyor	Application:	conveying
Frame Material:	Carbon Steel Stainless Steel	Usage:	workshops continual conveying
Advantage:	High Efficiency Low Cost	size:	customized
width:	500mm-1200mm Customized	Speed:	Adjsutable Speed
		length:	Customized 1~30m

Specification

Model	ZT series
Belt Width	300mm-2000mm
Conveyor Length	1-100 meters
Belt Speed	0.8m/s-2.0m/s
Lifting Height	As per model
Power	0.75KW-45KW
Voltages	110V-660V

E.10. Cotización de los tornillos sin fin T-i



High quality screw conveyor ,conveyor system,material handling equipment

FOB Reference Price: [Get latest price](#)

\$1,000.00 - \$8,000.00 / set | 1 set/sets (Min. order)

Benefits: 3-day coupon giveaway: up to US \$80 off [View more >](#)

Quantity: sets

Purchase details Protection with Trade Assurance

Shipping: [Contact supplier](#) to negotiate shipping details
Enjoy **On-time Dispatch Guarantee**

Payments:

Enjoy encrypted and secure payments [View details](#)

Returns & Refunds: Eligible for returns and refunds [View details](#)

Add to Compare Share

Overview

Essential details

Condition: New	Type: Screw conveyor
Material: Stainless steel	Material Feature: Heat Resistant
Structure: Roller Conveyor	Load Capacity: 500kg
Place of Origin: Guangdong, China	Brand Name: jiabao
Model Number: LS	Voltage: 220/380V
Power: 3~30kw	Dimension(L*W*H): Customized Size
After-sales Service Provided: Engineers available to service machinery overseas	Warranty: 1 Year
Certification: ISO9001:2008	MOQ: 1 set

Machine model	GX150	GX200	GX250	GX300	GX400	GX500	GX600
Screw diameter	150	200	250	300	400	500	600
Screw pitch	120	160	200	240	320	400	480
Rotate speed	31-129	31-114	31-102	31-88	31-88	31-75	31-59
Convey measure	1.3-55	3.1-11	6-20	10-30	25-71	49-118	85-162
Speed ratio	0.013	0.03	0.06	0.1	0.25	0.48	0.85
Contilever load	210	370	580	800	1500	2400	3500

$$P = \sqrt[3]{\frac{V}{3}} \quad H = 2P \quad A = 1,5P$$

