

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Estudio de prefactibilidad técnico-económico de una planta de producción de bioplástico en pellets a partir de almidón oxidado de papa de desecho.**

**Cristian Andrés Curipallo Alvear**

**Ingeniería Química**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de Ingeniero Químico

Quito, 25 de Mayo de 2021

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Estudio de prefactibilidad técnico-económico de una planta de producción de bioplástico en pellets a partir de almidón oxidado de papa de desecho.**

**Cristian Andrés Curipallo Alvear**

Nombre del profesor, Título académico

José Álvarez, Ph.D.

Nombre del profesor, Título académico

Juan Diego Fonseca, Ph.D.

Quito, 25 de Mayo de 2021

## © 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: Cristian Andrés Curipallo Alvear

Código: 00131513

Cédula de identidad: 1717312118

Lugar y fecha: Quito, 14 de Abril de 2021

## 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## UNPUBLISHED DOCUMENT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 diseñó una planta de producción de bioplástico en pellets utilizando como materia prima papa de desecho proveniente de la provincia de Carchi (Ecuador). El caudal de producción propuesto fue de 281,64 kilogramos diarios; para la elaboración de esta cantidad de bioplásticos se procesaría 2.768,91 kilogramos diarios de papa de desecho. El proceso diseñado consiste en tres etapas: la extracción y pretratamiento del almidón, la modificación química del almidón mediante oxidación con peróxido de hidrógeno y la etapa de obtención del producto final caracterizada por la adición de plastificantes como PVA y glicerina. Posteriormente, se realizó un estudio de prefactibilidad técnico-económica. Como resultado del análisis, se estimó que el tiempo de recuperación sería de 3,9 años con un TIR y un VAN de 25% y \$3.070.631,72, respectivamente, indicando que el proyecto sería rentable. Adicionalmente, se realizó un análisis de flexibilidad en relación al precio de venta del producto final así como al caudal de etanol, donde se recomienda realizar investigaciones experimentales para determinar la cantidad necesaria de este compuesto. En caso de implementarse, este proyecto tendría un impacto positivo en la economía de los productores de papa, quienes se beneficiarían de dar un valor agregado a una parte de su producción considerada desecho. Adicionalmente, al no haber industria de bioplásticos en el Ecuador, el proyecto llegaría a ser una incursión viable a una industria alternativa al plástico sintético no biodegradable, una tendencia con impacto positivo con respecto al medio ambiente.

**Palabras clave:** Agente oxidante, peróxido de hidrógeno, PVA, glicerina y etanol.

## ABSTRACT

In this project, a bioplastic pellet production plant was designed using waste potatoes from the province of Carchi (Ecuador) as raw material. The proposed production flow was 281,64 kilograms per day; for the production of this amount of bioplastics 2.768,91 daily kilograms of waste potatoes would be processed. The designed process consists of three stages: the extraction and pretreatment of the starch, the chemical modification of the starch by oxidation with hydrogen peroxide and the stage of obtaining the final product characterized by the addition of plasticizers such as PVA and glycerin. Subsequently, a technical-economic pre-feasibility study was carried out. As a result of the analysis, the payback time was estimated to be 3.9 years with an TIR and VAN of 25% and \$3.070.631,72 respectively, indicating that the project would be profitable. Additionally, a flexibility analysis was carried out in relation to the sale price of the final product in the market, as well as the ethanol flow rate, where it is recommended to carry out experimental investigations in order to determine the necessary amount of this compound. If implemented, this project would have a positive impact on the economy of potato producers, who would benefit from adding value to a part of their production considered waste. Additionally, since there is no bioplastics industry in Ecuador, the project would become a viable incursion into an alternative industry to non-biodegradable synthetic plastic, a tendency which offers a positive impact towards the environment.

**Keywords:** Oxidizing agent, hydrogen peroxide, PVA, glycerin and ethanol

## TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN .....	13
1.1 Antecedentes .....	13
1.1.1 Primer plástico sintético no biodegradable: la baquelita .....	13
1.1.2 Plásticos sintéticos no biodegradables y sus consecuencias .....	14
1.1.3 Bioplásticos termoformables como solución a los plásticos sintéticos .....	15
1.2 Propuesta de este proyecto .....	16
1.3 Justificación del proyecto.....	16
1.3.1 El petróleo como un recurso no renovable y la biomasa vegetal como uno renovable	16
1.3.2 La biodegradabilidad como ventaja de ciertos bioplásticos .....	17
1.3.3 Innovación del proceso.....	18
1.3.4 Justificación económica.....	18
1.4 Objetivos y resultados esperados .....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos específicos.....	19
1.4.3 Impacto esperado de la implementación de este proyecto.....	19
1.5 Actualidad de los bioplásticos.....	20
1.6 Almidón nativo modificado químicamente.....	21
CAPÍTULO 2: BASES DEL DISEÑO.....	22
2.1 Descripción del producto .....	22
2.2 Descripción de materias primas .....	23
2.2.1 Costos y proveedores de las materias primas .....	24
2.3 Descripción del proceso de producción de bioplástico .....	26
2.3.1 Definición de operaciones unitarias del proceso .....	26
2.3.2 Descripción general del proceso de producción del bioplástico.....	27
2.3.5 Selección del agente oxidante.....	27
2.3.6 Plastificantes.....	28
2.4 Ubicación .....	28
2.5 Limitaciones y normas .....	29
2.6 Terminología especializada.....	31
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL PROCESO .....	32
3.1 Caudal de producción.....	32
3.2 Diagrama de flujo.....	33

3.3 Modo de operación.....	35
3.4 Balances de masa y energía.....	36
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA PLANTA.....	38
4.1 Selección y dimensionamiento de los equipos de la primera etapa .....	38
4.2 Selección y dimensionamiento del equipo de la segunda etapa.....	39
4.3 Selección y dimensionamiento de los equipos de la tercera etapa .....	39
4.4 Selección y dimensionamiento de equipos adicionales.....	40
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO .....	40
5.1 Estimación de costo ISBL según los tres métodos.....	41
5.2 Estimación de la inversión de capital fijo, capital de trabajo y costos de producción .....	42
5.2.1 Inversión de capital fijo .....	42
5.2.2 Capital de trabajo y costos de producción .....	43
5.3 Estimación de ingresos y flujo de caja .....	44
5.4 Análisis de recuperación y rentabilidad .....	44
5.5 Análisis de flexibilidad económica con respecto al precio de venta del producto.....	45
5.6 Análisis de flexibilidad económica con respecto a la cantidad necesaria de etanol en el tanque de precipitación.....	47
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXO A: METODOLOGÍA.....	60
A.1 Bases de diseño .....	60
A.2 Diseño del proceso .....	62
A.3 Diseño de la planta .....	65
A.4 Análisis de factibilidad económica y rentabilidad de la planta industrial.....	81
ANEXO B: CALCULOS.....	87
B.1 Pérdidas de masa en las operaciones unitarias .....	87
B.2 Cantidad de materias primas.....	87
B.3 Balance de masa completo .....	88
ANEXO C: CALCULOS DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS.....	92
C.1 Equipos para la primera etapa .....	92
C.2 Equipo para la segunda etapa .....	96
C.3 Equipos para la tercera etapa .....	97
C.4 Equipos auxiliares.....	101
ANEXO D: COTIZACIONES DE EQUIPOS .....	109
ANEXO E: CALCULOS ECONÓMICOS .....	116



E.1 Estimación de costos teóricos .....	116
E.2 Estimación de costos según el método de HAND .....	117
E.3 Estimación de costos según el método factorial detallado .....	118
E.4 Capital de trabajo .....	119
E.5 Costos variables de producción .....	119
E.6 Costos fijos de producción.....	120
E.7 Ingresos de la planta .....	120
E.8 Flujo de caja.....	121

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materias primas, función en el proceso, costo unitario, condiciones de seguridad, manejo, transporte y proveedor.....	25
Tabla 2. Balance de masa para un ciclo de producción .....	36
Tabla 3. Requerimiento energético de los equipos del proceso.....	37
Tabla 4. Costos ISBL a partir de los tres métodos.....	42
Tabla 5. Inversión de capital fijo .....	43
Tabla 6. Costos de producción: Fijos y Variables .....	44
Tabla 7. Estimación de Ingresos .....	44
Tabla 8. Análisis de recuperación y rentabilidad del proyecto.....	45

## ÍNDICE DE TABLAS EN ANEXOS

Tabla 9. Criterios de selección entre: Peróxido de hidrógeno e Hipoclorito de sodio.....	60
Tabla 10. Ventajas y desventajas entre agentes oxidantes.....	61
Tabla 11. Determinación del caudal de producción a partir de la materia prima principal.....	63
Tabla 12. Dimensionamiento de equipos correspondientes a la primera etapa .....	78
Tabla 13. Dimensionamiento de equipos correspondientes a la segunda etapa .....	79
Tabla 14. Dimensionamiento de equipos correspondientes a la tercera etapa.....	79
Tabla 15. Dimensionamiento de equipos adicionales: Bandas transportadoras .....	80
Tabla 16. Dimensionamiento de equipos adicionales: Tornillos sinfín.....	81
Tabla 17. Dimensionamiento de equipos adicionales: Bombas.....	81
Tabla 18. Pérdidas en masa de las operaciones unitarias del proceso .....	87
Tabla 19. Cantidad requerida de materias primas a lo largo del proceso .....	87
Tabla 20. Balance de masa de la corriente 1-10 .....	88
Tabla 21. Balance de masa de la corriente 11-20 .....	88
Tabla 22. Balance de masa de la corriente 21-30 .....	89
Tabla 23. Balance de masa de la corriente 31-40 .....	90
Tabla 24. Balance de masa de la corriente 41-48 .....	91
Tabla 25. Balance de masa de la corriente 49.....	91
Tabla 26. Dimensionamiento de la balsa de lavado.....	92
Tabla 27. Dimensionamiento del molino de martillos.....	92
Tabla 28. Dimensionamiento parcial del tamizador .....	93
Tabla 29. Dimensionamiento de la centrífuga 1 .....	93
Tabla 30. Dimensionamiento tanque de mezclado 1 .....	94
Tabla 31. Dimensionamiento de la centrífuga 2 .....	94
Tabla 32. Dimensionamiento tanque de esterilización .....	95
Tabla 33. Dimensionamiento tanque del reactor .....	96
Tabla 34. Dimensionamiento tanque de precipitación.....	97
Tabla 35. Dimensionamiento de la centrífuga 3 .....	98
Tabla 36. Dimensionamiento del triturador .....	98

Tabla 37. Dimensionamiento tanque de mezclado (T-04).....	98
Tabla 38. Dimensionamiento tanque de mezclado (T-05).....	99
Tabla 39. Dimensionamiento del secador.....	100
Tabla 40. Dimensionamiento de la peletizadora.....	100
Tabla 41. Dimensionamiento de banda transportadora 1.....	101
Tabla 42. Dimensionamiento de banda transportadora 2.....	101
Tabla 43. Dimensionamiento de banda transportadora 3.....	102
Tabla 44. Dimensionamiento de banda transportadora 4.....	103
Tabla 45. Dimensionamiento de banda transportadora 5.....	103
Tabla 46. Dimensionamiento de banda transportadora 6.....	104
Tabla 47. Dimensionamiento tornillo sinfín 1.....	104
Tabla 48. Dimensionamiento tornillo sinfín 2.....	105
Tabla 49. Dimensionamiento tornillo sinfín 3.....	106
Tabla 50. Dimensionamiento tornillo sinfín 4.....	106
Tabla 51. Dimensionamiento tornillo sinfín 5.....	107
Tabla 52. Dimensionamiento tornillo sinfín 6.....	107
Tabla 53. Dimensionamiento tornillo sinfín 7.....	108
Tabla 54. Estimación de costos teóricos de los equipos del proceso.....	117
Tabla 55. Estimación de costos según HAND.....	117
Tabla 56. Estimación de costos según MFD.....	118
Tabla 57. Indicadores que conforman el capital de trabajo.....	119
Tabla 58. Indicadores que conforman los costos variables de producción.....	119
Tabla 59. Indicadores que conforman los costos fijos de producción.....	120
Tabla 60. Indicadores que conforman los ingresos de la planta.....	120
Tabla 61. Flujo de caja de la planta.....	121

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloque del proceso .....	26
Figura 2. Diagrama de flujo del proceso.....	34
Figura 3. Diagrama de barras: precio de venta frente al tiempo de recuperación, TIR y VAN ...	46
Figura 4. Diagrama de barras: caudal de etanol frente al tiempo de recuperación, TIR y VAN..	48

## ÍNDICE DE FIGURAS EN ANEXOS

Figura 5. Número de Reynolds vs Número de potencia. Agitadores de turbina. (Towler, 2008).	67
Figura 6. Número de Reynolds vs Número de potencia. Tipos de agitadores (Collahuazo, 2012). .....	68
Figura 7. Tipos de agitadores vs Viscosidad. (Collahuazo, 2012).....	68
Figura 8. Factor de ancho de banda en función del ancho de banda y peso específico. (Ingemecánica, n.d.).....	73
Figura 9. Factor de servicio en función de las condiciones de trabajo. (Ingemecánica, n.d.) .....	73
Figura 10. Coeficiente de relleno en función del tipo de carga. (Ingemecánica, n.d.) .....	75
Figura 11. Diámetro del tornillo en función del tipo de material a transportar y la velocidad. (Ingemecánica, n.d.).....	76
Figura 12. Coeficiente de disminución en función del ángulo de inclinación. (Ingemecánica, n.d.) .....	76
Figura 13. Coeficiente de resistencia en función del tipo de material. (Ingemecánica, n.d.) .....	77
Figura 14. Detalle costo de adquisición de la balsa de lavado.....	109
Figura 15. Descripción general de la balsa de lavado.....	109
Figura 16. Detalle costo de adquisición del molino de martillos.....	110
Figura 17. Descripción general del molino de martillos. Modelo SW420B-11 .....	110
Figura 18. Detalle costo de adquisición del tamizador vibratorio .....	111
Figura 19. Descripción general del tamizador vibratorio. Modelo DH-1000.....	111
Figura 20. Detalle costo de adquisición de la centrifugadora 1 .....	112
Figura 21. Descripción general de la centrifugadora 1. Modelo SZ-1000.....	112
Figura 22. Detalle costo de adquisición de la centrifugadora 2.....	113
Figura 23. Descripción general de la centrifugadora 2. Modelo HH115.....	113
Figura 24. Detalle costo de adquisición de la centrifugadora 3.....	114
Figura 25. Descripción general de la centrifugadora 3. Modelo LXJ1200.....	114
Figura 26. Detalle costo de adquisición trituradora .....	115
Figura 27. Descripción general de la trituradora. Modelo QC-607 .....	115
Figura 28. Detalle costo de adquisición bomba centrífuga.....	116

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Antecedentes**

#### **1.1.1 Primer plástico sintético no biodegradable: la baquelita**

En el año 1.907, Leo Baekeland patentó el primer plástico sintético no biodegradable, la baquelita. Este plástico fue sintetizado a base de fenol y formaldehído, dando lugar a un material duro, resistente al calor, a la conducción de electricidad, y a los solventes (Yanes, 2019). La producción industrial de baquelita dio paso a una serie de investigaciones que concluyeron que los combustibles fósiles serían la nueva materia prima para la obtención de estos materiales similares a la baquelita, denominados generalmente como plásticos; de esta manera, se sustituyó fuentes de origen natural como el marfil, la madera, la concha, el ámbar, etc por combustibles fósiles. El auge de esta industria y la consecuente fabricación masiva de una serie de artículos plásticos pasando por juguetes y utensilios de cocina hasta armas de fuego, permitió el desarrollo de la sociedad y su modernización. Sin embargo, al facilitar la comodidad de la población por medio de estos artículos funcionales y de bajo costo se generaron consecuencias ambientales que contribuyen a la contaminación y a la generación de más y más basura en el mundo.

La producción mundial de plástico en el 2.018 alcanzó 359 millones de toneladas, siendo Europa el continente que más contribuyó con 61,8 millones (Fernández, 2.020). En el Ecuador, a pesar de ser un país relativamente pequeño, el consumo de fundas plásticas por año es de 1,5 millones (Primicias, 2.019). Gran parte de la basura permanente o de lenta degradación generada por los seres humanos llega al océano, ya sea por acción voluntaria o por efectos del viento o lluvia. El 79% de los plásticos desechados hasta hoy ha acabado en vertederos

(Greenpeace, 2.020); el problema es que al no ser desechados correctamente, pueden llegar al océano por fuentes fluviales o alcantarillado.

### **1.1.2 Plásticos sintéticos no biodegradables y sus consecuencias**

Los plásticos más utilizados son ya sea sintéticos o semisintéticos, provenientes del petróleo. Estos se obtienen a través de polimerización, la unión en largas cadenas de grandes cantidades de moléculas llamadas monómeros; al unirse entre sí, se constituyen las macromoléculas llamadas polímeros (Antonieta Riera & Palma, 2.018). El origen del problema ambiental que se deriva de estos radica en la manera como son fabricados y su baja biodegradabilidad.

La industria petroquímica es la mayor generadora de emisiones de dióxido de carbono, dando como consecuencia el aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero que a su vez, provoca el calentamiento global. El uso indiscriminado de los plásticos no biodegradables y de un solo uso causa un desequilibrio ambiental, la contaminación de los ecosistemas, especialmente el marino que cuenta con la mayor biodiversidad existente en el planeta Tierra. La basura de plásticos es confundida por alimento y las especies marinas la consumen, provocando su muerte. En otros casos, cuando la basura es muy grande puede llegar a lastimarlos o atraparlos. De todos modos, el hecho de tirar nuestros desperdicios a un lugar donde no habitamos no es éticamente correcto, aún menos sabiendo sus efectos negativos.

Los seres humanos no estamos exentos de la contaminación y sus efectos nocivos; la cuestión es que todo combinado forma parte del equilibrio, y al alterarse este en lo más mínimo, la vida en la tierra puede llegar a ser diferente en formas indeseables. Para los seres humanos, uno de los riesgos más directos está relacionado a los aditivos que se incluyen en las formulaciones de

plásticos. Las vías de exposición humana a los aditivos químicos de los plásticos son la ingesta y la inhalación. Hay más de 3.000 sustancias químicas diferentes asociadas a los plásticos y entre ellas más de 60 son consideradas de alto riesgo para la salud (Eljarrat, 2.019).

La ingesta de sustancias con potencial nocivo son principalmente los plastificantes usados en la elaboración de los plásticos y viene dada por el consumo de especies marinas y no necesariamente por la presencia tangible de micro plástico en ellas, si no por los componentes químicos que forman parte de estos. En cuanto a la vía de inhalación, la paulatina descomposición del plástico y la lenta evaporación de aditivos a lo largo de los años genera exposición con estos químicos por medio del aire.

### **1.1.3 Bioplásticos termoformables como solución a los plásticos sintéticos**

Los bioplásticos son definidos como plásticos biodegradables y bio-basados; es decir, aquellos plásticos que reúnen ambas características (European Bioplastics, 2.020). El término bio-basado hace alusión al uso de materias primas derivadas de biomasa o de fuentes vegetales como el almidón. Por otra parte, la biodegradabilidad es la acción de ciertos microorganismos de descomponer el material a través de ciertas condiciones y es una propiedad que presentan ciertos polímeros.

Los bioplásticos pueden ser fabricados a partir de fuentes vegetales y el Ecuador tiene gran potencial en cuanto a la actividad agrícola. Las principales fuentes de biomasa para producir bioplásticos son los cereales, normalmente el maíz, el bagazo de caña de azúcar, las patatas y el aceite de ricino (Aranda et al., 2.015).

La papa es una de las principales fuentes de almidón y en el Ecuador es uno de los principales cultivos. La zona norte tiene la mayor producción de papa por área a nivel nacional.

Su rendimiento es en promedio 21,7 toneladas por hectárea. Aunque la provincia del Carchi solo ocupa el 25% de la superficie nacional dedicada al cultivo de papa (15.000 ha), la provincia produce el 40% de la cosecha anual del país (Charro, 2.015).

## **1.2 Propuesta de este proyecto**

Con la finalidad de introducir al mercado ecuatoriano una alternativa viable al plástico sintético convencional, se diseñó una planta de producción de bioplástico en pellets a partir de papa de desecho proveniente de la provincia de Carchi. La recolección de materia prima como primera instancia permitirá el aprovechamiento de biomasa que es desechada y descompuesta, afectando al medio ambiente. Por otro lado, brindará un medio de comercialización adicional a los agricultores del sector. La papa de desecho cursará una serie de operaciones para la extracción y pretratamiento del almidón, que luego será modificado químicamente; en este proyecto se evaluará dos tipos de agentes oxidantes: el hipoclorito de sodio y el peróxido de hidrógeno. La última etapa se presenta como un conjunto de procesos que darán como resultado la obtención del bioplástico con las características necesarias para posteriormente ser transformado a fundas plásticas para transporte de compras, considerando que este es uno de los artículos plásticos más utilizados en el Ecuador y en el mundo.

## **1.3 Justificación del proyecto**

### **1.3.1 El petróleo como un recurso no renovable y la biomasa vegetal como uno renovable**

Las reservas mundiales de petróleo no son renovables. En el Ecuador hay aproximadamente 4,8 billones de barriles disponibles en los distintos campos petroleros, y la producción nacional está en alrededor de 517.231 barriles diarios (Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH), 2.020). Se estima que el tiempo aproximado por el que aun contaríamos con este recurso sería de 25,5 años, sin tomar en cuenta los cambios y flujos de



producción que pudieran acontecer en los próximos años. Esto no solo compromete la sostenibilidad a futuro de los combustibles fósiles, sino también de industrias y productos derivados de estos como lo son los plásticos sintéticos petroderivados.

Sin embargo, los plásticos también pueden ser fabricados a partir de biomasa vegetal, siendo esta una fuente renovable. Cabe recalcar que el objetivo de este proyecto no es utilizar parte de la cosecha que constituye el alimento destinado a la población ni para el ganado, sino más bien hacer uso de la papa de desecho, también llamada papa de tercera, la cual actualmente no tiene utilidad para otros fines que no sean los del proyecto presentado.

### **1.3.2 La biodegradabilidad como ventaja de ciertos bioplásticos**

Los plásticos tardan mucho tiempo en descomponerse; dependiendo de sus componentes adherentes, la descomposición de los plásticos toma entre 100 y 1.000 años. Por ejemplo, una botella hecha de plástico tereftalato de polietileno tarda aproximadamente 500 años en desintegrarse (EMASEO, 2.017). El problema de los plásticos sintéticos en su mayoría es su demorada descomposición natural, en combinación con su desmesurada producción, consumo, y acumulación por falta de un proceso de desechamiento adecuado.

Los bioplásticos en su mayoría sí son biodegradables bajo las condiciones adecuadas para propiciar la actuación de microorganismos capaces de biodegradar el material. La biodegradación puede efectuarse de manera primaria o secundaria: durante la biodegradación primaria se producen discretas alteraciones estructurales en la molécula original, lo que hace que esta pierda sus propiedades físico-químicas; por otra parte, durante la biodegradación secundaria la sustancia química es metabolizada por los microorganismos (Rodríguez, 2.012).

### **1.3.3 Innovación del proceso**

A nivel mundial, la producción actual de bioplásticos representa aproximadamente solo el 1% de los casi 320 millones de toneladas de plásticos no bio originados que se producen por año. (Antonieta Riera & Palma, 2.018), lo que indica una tendencia en aumento.

La mayor producción de bioplástico se da en el continente Asiático, seguido por el Europeo, América del Norte (esencialmente Estados Unidos) y, por último América del Sur. Los países sudamericanos que aportan a la producción de bioplásticos, aunque en menor cantidad que países de otros continentes, son Brasil, Chile, Argentina y Colombia. En el Ecuador, la realidad es totalmente diferente; aquí no existe empresa productora especializada en bioplásticos, por lo tanto, el campo laboral a desarrollar en los próximos años es amplio. Este proyecto es innovador ya que incursiona en este campo productivo poco explorado en el Ecuador.

### **1.3.4 Justificación económica**

La justificación económica que sirve de base para la implementación de este proyecto está ligada al costo de materias primas requeridas para el proceso, es decir: papa de desecho, peróxido de hidrógeno, sulfato de cobre, alcohol polivinílico (PVA), glicerina, y etanol. Por otro lado, los ingresos del proyecto sería el capital fruto de las ventas del producto final; de esta manera se estima que se obtendrá un margen bruto positivo. El precio del producto final toma como referencia los precios de venta del catálogo de un proveedor de insumos industriales en línea, donde se encuentra evaluado entre \$6,00-10,00 por kilogramo. Para el cálculo de costos de este proyecto, el precio base propuesto es de \$18,00, tomando en cuenta varios aspectos remarcados más adelante en la sección 5.5; aquí se explicará que se estima una venta anual de \$1.824.955,24, con un margen bruto de \$1.507.582,59

## **1.4 Objetivos y resultados esperados**

### **1.4.1 Objetivo General**

El objetivo general del proyecto presentado en este documento es el evaluar la factibilidad técnico-económica de la producción de un bioplástico a base de almidón oxidado obtenido a partir de papa de desecho como una alternativa para la disminución a la problemática ambiental relacionada a los plásticos sintéticos y la revalorización de un producto agrícola, actualmente considerado un desecho, para el beneficio de los agricultores nacionales.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos de este proyecto están planteados con la finalidad de llevar al cumplimiento del objetivo general. Estos objetivos se encuentran desarrollados a lo largo del documento de la siguiente manera:

1. Selección del agente oxidante más adecuado para la producción del bioplástico termoconformado. (Capítulo 2).
2. Diseño del proceso y planta para la elaboración de bioplásticos en forma de pellets para su posterior utilización en fundas plásticas.(Capítulos 3 y 4).
3. Análisis de factibilidad y flexibilidad económica con respecto a la rentabilidad de la planta industrial. (Capítulo 5).

### **1.4.3 Impacto esperado de la implementación de este proyecto**

Una vez finalizada la ingeniería del aspecto técnico del proyecto, se evaluará también el aspecto económico y la rentabilidad del mismo. En caso de ser satisfactorios los resultados, se analizará la posibilidad de encontrar financiamiento y construir la planta considerada en este

proyecto a futuro. En cuanto a estimaciones iniciales, sí se obtendrá ganancias por la operación del proceso desarrollado y presentado a continuación, pero es importante realizar las estimaciones con una mayor precisión en base a la ingeniería de detalle que se lleva a cabo en este trabajo. Con respecto a la materia prima principal del proceso, se sabe que la papa de tercera es desechada y no se le da ningún uso; por lo tanto, el aprovechamiento de este recurso permitirá un aumento de ingresos en los agricultores, generando más fuentes de trabajo por medio de una nueva industria, y sobre todo, la movilización del flujo monetario principalmente al sector agricultor. Las expectativas de este proyecto son reales, ya que en Ecuador no existe actualmente una producción especializada de bioplásticos, por lo que la competencia en el mercado sería nula; adicionalmente, se esperaría apoyo por parte del Gobierno como una contribución en el eje 2 del Plan Nacional de Desarrollo 2.017-2.021 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017), tomando en cuenta la problemática de los plásticos no biodegradables y los efectos mencionados en los ecosistemas del Ecuador. El impacto en la sociedad puede ser muy representativo sobre todo en la provincia del Carchi, donde un aumento en los ingresos generará el interés en este tipo de negocio, atrayendo a más agricultores, y esto a su vez permitirá la mejora y desarrollo urbano y rural en cuanto a carreteras, servicios básicos, servicios públicos y mejores en el sector de la educación.

### **1.5 Actualidad de los bioplásticos**

Los bioplásticos derivados de almidón nativo, es decir, sin modificar, son materiales que comúnmente presentan propiedades mecánicas relativamente inferiores a las de sus contrapartes sintéticas: estos bioplásticos son solubles en agua, y pueden presentar ablandamiento y deformación al entrar en contacto con la humedad, resultando en un producto quebradizo (Narváez, 2.016). Los bioplásticos a partir de almidón nativo generalmente sufren la desventaja de ser materiales quebradizos; se informa que su resistencia a la tracción es bastante alta,

dependiendo de las condiciones experimentales, pero su alargamiento es pobre (Koch et al., 2.010). Sin embargo, se ha demostrado que mediante la modificación química del almidón y el uso de plastificantes en la formulación de bioplásticos puede lograr una mejora en sus propiedades mecánicas y térmicas, permitiendo reemplazar a plásticos sintéticos no biodegradables.

Según el trabajo de titulación de Ramiro Ponce de la Universidad San Francisco de Quito, basado en la caracterización de un termoplástico a base de almidón oxidado con peróxido de hidrógeno y PVA como plastificante, se concluyó que este material es un termoplástico sólido que presenta estabilidad térmica y propiedades mecánicas aceptables, con un Módulo de Young entre 0,1 y 2 MPa y esfuerzo de fluencia mayor a 20 MPa (Ponce, 2.018).

### **1.6 Almidón nativo modificado químicamente**

El almidón es considerado un sólido semi-cristalino debido a que presenta características tanto amorfas como cristalinas. Esta combinación de propiedades explica por qué el almidón no se derrite en el sentido tradicional de formar un líquido, sino más bien en una pérdida de cristalinidad debido a la ruptura de los enlaces de hidrógeno (Shanks, 2.012). Debido a esto, no se obtienen buenos resultados al trabajar con el almidón nativo en forma granular. A pesar de mejorar las propiedades del almidón con la adición de algún plastificante, este termoplástico aún sigue siendo higroscópico y sus propiedades como la estabilidad estructural se ven afectadas por el nivel de humedad (Laufer, 2.019). Por esta razón es necesario realizar alguna modificación química al almidón; en caso del proceso propuesto para este proyecto esta modificación será la oxidación.

El proceso de oxidación se lleva a cabo principalmente en dos fases. La primera ocurre cuando los grupos hidroxilo del almidón son oxidados a grupos carbonilo y después a grupos carboxilo. La segunda fase involucra la degradación de las moléculas de almidón principalmente

por la ruptura de los enlaces  $\alpha$ -1,4 de las moléculas de amilosa y amilopectina (Bonilla, et al., 2.013).

Durante la oxidación, el almidón pierde su cristalinidad y los grupos hidroxilos en el anillo de glucosa son parcialmente oxidados en aldehídos y cetonas, mediante la introducción de grupos carbonilos y carboxilos, resultando en un mejoramiento de las propiedades mencionadas anteriormente. (Laufer, 2.019).

## **CAPÍTULO 2: BASES DEL DISEÑO**

### **2.1 Descripción del producto**

El producto a obtener son un bioplástico en pellets a base de almidón de papa de desecho, compuesto por 50% almidón, 48% PVA y 2% glicerina, en porcentajes máxicos (Laufer, 2.019). El producto final será una alternativa viable a los plásticos sintéticos no biodegradables. Los bioplásticos modificados obtienen mejores propiedades mecánicas con respecto al material sin modificar, tal como mayor elasticidad, resistencia a la tensión, y dureza; estas propiedades son parecidas a las del polietileno de baja densidad del poliestireno (Barahona, 2.019). Esta información nos permite definir la aplicación y el correspondiente mercado específico en el cual se va a incursionar. Tanto el polietileno de baja densidad como el poliestireno son plásticos petroderivados empleados para la elaboración de un sin número de artículos, entre ellos las fundas plásticas. Es por esto que este proyecto opta dirigir el bioplástico producido en pellets a la producción y mercado de este artículo en específico.

En cuanto a la definición del costo por unidad de venta del producto, se referenciaron el rango de precios de bioplásticos en pellets a base de fuentes vegetales disponibles en el mercado, el cual está entre \$6,00 y \$10,00 por kilogramo. Sin embargo, el proceso de elaboración y de transformación de materias primas hasta la obtención del producto final consta de una serie de operaciones unitarias a nivel industrial que certifican la calidad del producto, pero por otra parte aumenten los costos de producción; por lo tanto, el precio final tomando en cuenta la complejidad del proceso sería un estimado de \$18,00 por kilogramo. A pesar de ser un producto con un costo mayor viene ligado con la responsabilidad ambiental que como ciudadanos debemos considerar.

La presentación comercial del producto final sería en pellets. Para definir el medio de empaque y cantidad que constituye, una unidad de venta del producto, se usó de referencia lo ofertado en catálogos de compra en línea: mediante kilogramos, quintales y toneladas según el pedido mínimo establecido por cada proveedor. En el caso de Ecuador, considerando a posibles compradores pequeños, medianos y grandes se determinó tres posibles presentaciones del producto; las unidades de venta corresponderían a 15, 50 y 100 kilogramos de bioplástico en pellets, siendo la última presentación de 100 kilogramos empacada en un quintal.

## **2.2 Descripción de materias primas**

La materia prima principal para el proceso central de este proyecto es la papa de desecho, la cual es conocida también como papa de rechazo o de tercera debido a su cadena de utilidad. En primera instancia, está la papa destinada a la alimentación de la población; de ninguna manera se puede utilizar esta fuente para la elaboración de los bioplásticos en pellets por motivos de evitar conflictos con la seguridad alimentaria. En segunda instancia, está la papa que es empleada para la alimentación del ganado que corresponde a un 75% de la papa que ya no está hábil para ser comercializada como alimento humano. El 25% restante es papa de tercera y es desechada sin uso

alguno; esta última aportará con la cantidad de almidón requerida para alimentar el proceso de producción de bioplástico.

El peróxido de hidrógeno es otra materia prima importante en el proceso, donde actúa como agente oxidante y va acompañado de un catalizador de sulfato de cobre con la finalidad de mejorar el proceso de oxidación de almidón. Los plastificantes requeridos en la parte final del proceso, corresponden al PVA y a la glicerina; cada uno de estos componentes aportará con características propias como módulo de elasticidad y disminución de la temperatura de ablandamiento del bioplástico para la obtención de un producto de calidad que pueda sustituir al plástico sintético convencional. Por último, se encuentra el etanol utilizado en dos partes del proceso: para la esterilización y precipitación del almidón antes y después de la oxidación. Cabe recalcar, que el proceso cuenta con una etapa de recirculación de etanol para disminuir el consumo del mismo en el proceso, evitando desperdicio y emisiones, así como abaratando costo de producción.

### **2.2.1 Costos y proveedores de las materias primas**

Las papas de desecho serán recolectadas en la provincia de Carchi, tomando en cuenta que es una de las regiones con mayor producción a nivel nacional. El etanol será adquirido por galones en Quito. Las materias primas restantes se obtendrán por importación mediante proveedores de la China a través de distintas empresas. El rombo de seguridad del agente oxidante se encuentra en el Anexo A.1.3. A continuación, en la tabla 1 se resume información importante sobre las materias primas:



Tabla 1. Materias primas, función en el proceso, costo unitario, condiciones de seguridad, manejo, transporte y proveedor

<b>Materia prima</b>	<b>Función en el proceso</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Consideraciones de seguridad y transporte</b>	<b>Proveedor</b>
Papa de tercera	Fuente principal para la obtención del almidón	\$4,00 por quintal	Manejo a través de quintales y será transportado a la industria en camiones.	Productores de la provincia de Carchi
Peróxido de Hidrógeno	Agente oxidante, importante en la reacción	\$340,00 por tonelada	Oxidante fuerte. Daños a la salud por ingesta y contacto directo con los ojos. No inflamable. Almacenamiento en lugar ventilado.	Tianyin Yuanlong Chemical Industry (China)
Alcohol Polivinílico	Actúa como plastificante para mejorar las propiedades	\$600,00 por tonelada	Evitar el contacto con la luz directa y con la piel. Mantenerse alejado del calor y humedad. Almacenar en envases herméticamente cerrados y en lugares frescos de 12 a 18°C. (Enar, n.d.)	Shandong Baovi Energy Technology (China)
Glicerina	Actúa como plastificante para mejorar las propiedades	\$600,00 por tonelada	No es una sustancia peligrosa, no es nociva ni tóxica. Para el almacenamiento no se requiere de condiciones especiales, evitar fuente de calor y en un lugar ventilado.(Quimipurt, 2.013)	Xhian Sheerheb Biological Technology (China)
Sulfato de cobre II	Acelera la velocidad de reacción y disminuye la Energía de activación	\$1.000,00 por tonelada	Es tóxico, corrosivo, evitar el contacto directo. Almacenamiento en lugar seco con ventilación.(Roth, 2.017)	Shandong Jinrunzi Bio-Tech (China)
Etanol	Para la esterilización y precipitación	\$19,5,00 por galón	Almacenar en recipientes cerrados lejos del calor y humedad. Inflamable.	Mercado libre (Pichincha, Quito)

## 2.3 Descripción del proceso de producción de bioplástico

### 2.3.1 Definición de operaciones unitarias del proceso

El proceso de producción de bioplástico en pellets a base de almidón de papa de desecho está compuesto por tres secciones: 1) Extracción y pretratamiento de almidón, 2) modificación química del almidón mediante oxidación, y 3) adición de plastificantes y obtención del producto final

Dentro de la sección 1), se seleccionó varias operaciones unitarias como lavado, trituración, tamizado, centrifugación, concentración de almidón a través de un tanque de mezclado, y esterilización. Por otro lado, la sección 2) abarca únicamente la modificación química del almidón en un reactor con agitación y chaqueta térmica, haciendo uso de un agente oxidante. La última sección 3) guarda relación con la adición de plastificantes al almidón oxidado y su futuro secado y peletización. A continuación, en la figura 1 se detalla el diagrama de bloques del proceso.

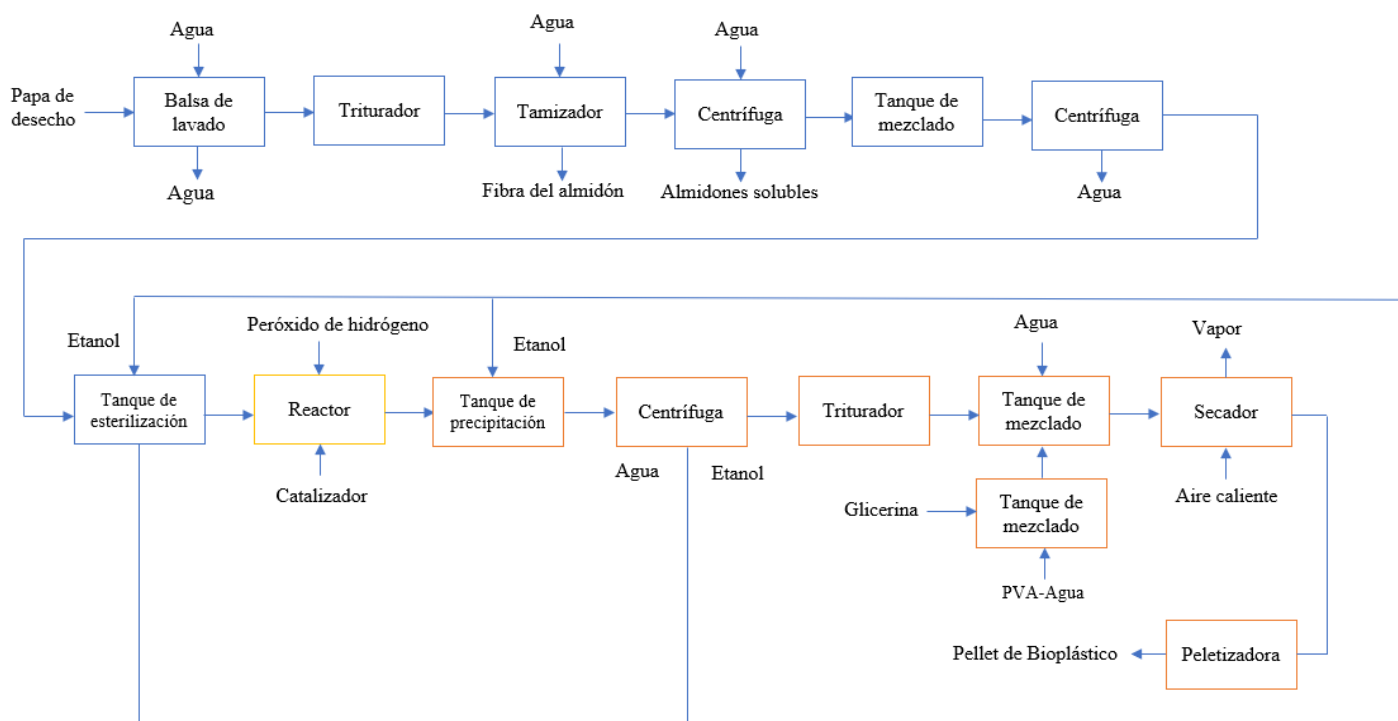


Figura 1. Diagrama de bloque del proceso

### **2.3.2 Descripción general del proceso de producción del bioplástico**

La producción del bioplástico a base de almidón de papa de tercera consiste en una serie de pasos, los mismos que se presentan gráficamente en la figura 1. El proceso de producción empieza con la recepción de la materia prima, la cuál será lavada, triturada, tamizada, y luego pasa por un proceso de centrifugación para eliminar los almidones solubles y agua. Posteriormente, el almidón se esteriliza con etanol y en el reactor ocurre su oxidación. El proceso continúa con el triturado y la adición de los plastificantes para mejorar las propiedades del bioplástico y, como pasos finales, se realiza un secado y peletización. La recuperación de etanol va ligada a la recirculación de este componente a las secciones de esterilización y precipitación.

### **2.3.5 Selección del agente oxidante**

La oxidación del almidón es una de las partes más importantes del proceso. Existen varios agentes oxidantes que pueden realizar la función de oxidar el almidón nativo, como por ejemplo el permanganato de potasio, persulfato de amonio, hipoclorito de bromo, hipoclorito de sodio, y peróxido de hidrógeno. Por lo tanto, para la selección del compuesto adecuado para el proceso de este proyecto se realizó una comparación entre hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno, al ser estos los más empleados industrialmente.

La oxidación por hipoclorito es el método más común para la producción de almidón oxidado a escala industrial; sin embargo, este oxidante puede conducir a la formación de subproductos clorados tóxicos (Sangseethong et al., 2010). Por otro lado, el peróxido de hidrógeno también es un eficaz agente de oxidación eficiente y es más fácil de controlar y manipular al ser un compuesto químico no peligroso ya que se descompone en agua y oxígeno.

Como resultado de la comparación técnica entre estos agentes oxidantes, el agente oxidante seleccionado para este proyecto es el peróxido de hidrógeno, un compuesto con características químicas específicas y de bajo costo. La tabla de criterios de selección y la tabla de ventajas y desventajas entre los agentes oxidantes mencionados, se encuentra el apartado de Anexos A, tabla 9 y 10. Esta primera permite tener una visión comparativa de acuerdo a la escala numérica del 1-5 según varias características y propiedades en cuestión.

### **2.3.6 Plastificantes**

Para poder dar al plástico elaborado a partir del almidón las propiedades mecánicas y térmicas que posee el plástico que proviene de la industria petroquímica, se utilizan aditivos tales como los plastificantes. Los plastificantes se añaden al material para brindar una mejora en su flexibilidad bajo condiciones normales de uso. Varios estudios han demostrado que el aumento del contenido de glicerol como plastificante en formulación es de plásticos y bioplásticos disminuye el módulo y la fuerza de tracción y aumenta el alargamiento. Además el glicerol es necesario para obtener películas cohesivas que no se quiebren (Koch et al., 2.010).

El otro plastificante a utilizar es el alcohol polivinílico (PVA). La mezcla de almidón-PVA ha demostrado excelente compatibilidad (Follain et al., 2.005); sobre todo, este polímero sintético es biodegradable y biocompatible. Por estas razones se define que el producto propuesto para este proyecto contendrá estas especies como aditivos.

### **2.4 Ubicación**

Para la ubicación de la planta de producción se toma en cuenta el lugar de donde se obtiene la materia prima principal; por lo tanto, la planta estaría ubicada en la provincia de Carchi. De esta

manera la recolección de la papa de tercera sería más sencilla con respecto a la logística y a lo económico o costos de transporte.

La climatología de Carchi se ha mantenido constante durante los inviernos y veranos, haciendo propicio el cultivo de papa en esta zona. La temperatura generalmente varía de 8°C a 18 °C y rara vez baja a menos de 6°C o sube a más de 20°C (Weather Spark, 2.021). En el Carchi cuentan con una continuidad del servicio de agua potable del 90,42% y el costo unitario de metro cúbico de agua potable está en \$0,53.

Las demás materias primas excepto el etanol, serán importadas y llegarían al puerto de Guayaquil, siendo la distancia hasta el Carchi de 593,5 km. A pesar de este hecho, estas materias primas se requieren en menor proporción que la papa de tercera y en estos casos la compra de sustancias químicas en el exterior se realizaría para uno o dos meses, no siendo así el caso de la papa. Es importante tomar en cuenta estos aspectos para mayor eficiencia y eficacia con el menor gasto económico; la ubicación permitirá reducir este tipo de costos.

## **2.5 Limitaciones y normas**

Las limitaciones internas que presenta el proyecto están relacionadas a la adquisición de la materia prima principal, la papa de tercera. El flujo de producción de papa varía según varios aspectos, como puede ser el clima, entre otros. Para la obtención del producto final se necesita de una cantidad específica de materia prima por lo que asegurar un abastecimiento de las mismas es de gran importancia. Por otra parte, es imposible competir con el aspecto alimenticio y la seguridad alimentaria; en caso de una menor producción de papa de tercera, no se puede utilizar papas que son destinadas al consumo de la población.

Otra limitación interna viene dada por la aceptación de los consumidores del producto propuesto, fundas plásticas para comprar, ya que actualmente están acostumbrados a un producto con ciertas características. El producto a obtener mediante este proyecto no se produce en Ecuador, y lamentablemente en este país existe muchas personas reacias al cambio, aun a pesar de ser un producto solución a muchos problemas ambientales. Sin embargo, con una buena campaña de marketing se puede procurar una buena aceptación de la población.

Las regulaciones, los trámites burocráticos y los permisos son necesarios para que el proceso cumpla con todas las obligaciones laborales, ambientales, etc. Sin embargo, en Ecuador la obtención de normas y patentes demora mucho tiempo. Otra limitación externa tiene que ver con la importación de la mayoría de materias primas, excluyendo la papa de desecho y el etanol, y también la maquinaria necesaria para el proceso, como consecuencia los costos de transporte serán mayores.

En cuanto al manejo y cuidado de las materias primas que constituyen sustancias químicas como el peróxido de hidrógeno, etanol y alcohol polivinílico, se deben tener sistemas adecuados y parámetros definidos para evitar cualquier tipo de problema. Para la implementación del proyecto, se visualizan ciertas normas. Según un estudio de la Universidad Autónoma Metropolitana de México para la asociación Nacional de la Industria Química, el que un elemento sea degradable o biodegradable no necesariamente disminuye su impacto ambiental, sino que depende en gran medida de su manejo. (AP, 2.019). Esto guarda relación con la cultura de la sociedad, más allá que el producto sea una alternativa viable para el consumo desmesurado de plástico sintético; sino se da un buen manejo de los desechos, incurriríamos en otro problema.

Por otro lado, está la norma ASTM D6400 que es empleada para definir a un polímero biodegradable, el cual debe descomponerse a partir de las condiciones adecuadas. La Norma

Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2643:2012 brinda ciertas especificaciones para los plásticos compostables desde etiquetado de materiales hasta la determinación si verdaderamente los productos finales son compostables. (INEN, 2.012). La Norma EN13432:2000 toma en cuenta ciertos aspectos como la calidad, desintegración del compost, la composición y la biodegradación en materiales aprovechados para el compostaje industrial. (NaturePlast, s.f.).

## **2.6 Terminología especializada**

**Papa de tercera.-** La papa de desecho o también llamada papa de tercera es aquella que no es utilizada para fines alimenticios ya que no cuenta con las condiciones necesarias para ser comercializada. Puede ser usada como fuente de alimentación para el ganado. Sin embargo, debido a su alto contenido de almidón será utilizada para este proyecto.

**Almidón.-** El almidón es la principal fuente de almacenamiento de energía en los vegetales; ya que provee del 70 al 80 % de las calorías consumidas por los humanos, se encuentra en grandes cantidades en las diversas variedades de plantas (Gallo, 2.017).

**Oxidación de almidón.-** La oxidación del almidón es un método comúnmente utilizado para obtener almidones modificados de baja viscosidad a altas concentraciones de sólidos. Los almidones oxidados se utilizan generalmente en la industria del papel. como aprestos superficiales o aglutinantes de revestimiento (Parovuori, 1.994).

**Alcohol polivinílico.-** El PVA, por su parte, es un polímero de amplio uso en la industria por ser no tóxico, soluble en agua, biocompatible y biodegradable con resistencia química y propiedades físicas excelentes (González, 2.015). Será utilizado como plastificante en el bioplástico elaborado como producto final de este proyecto.

**Peróxido de hidrógeno.-** El peróxido de hidrógeno es un compuesto químico utilizado en este proyecto como agente oxidante, fue seleccionado al ser un compuesto amigable con el medio ambiente. Se considera que el peróxido de hidrógeno ataca preferentemente a la amilopectina, lo que resulta en una reducción de la viscosidad (Molina, 2.017).

### **CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL PROCESO**

El diseño del proceso de obtención de bioplástico en pellets, teniendo como fuente principal el almidón de papa nativa de la provincia de Carchi, se encuentra detallado en el Anexo A, sección 8.2. Este capítulo abarcará subtemas importantes en el diseño como el caudal de producción, el diagrama de flujo, las condiciones de operación, así como los balances de masa y energía de cada línea y equipo dentro del proceso.

#### **3.1 Caudal de producción**

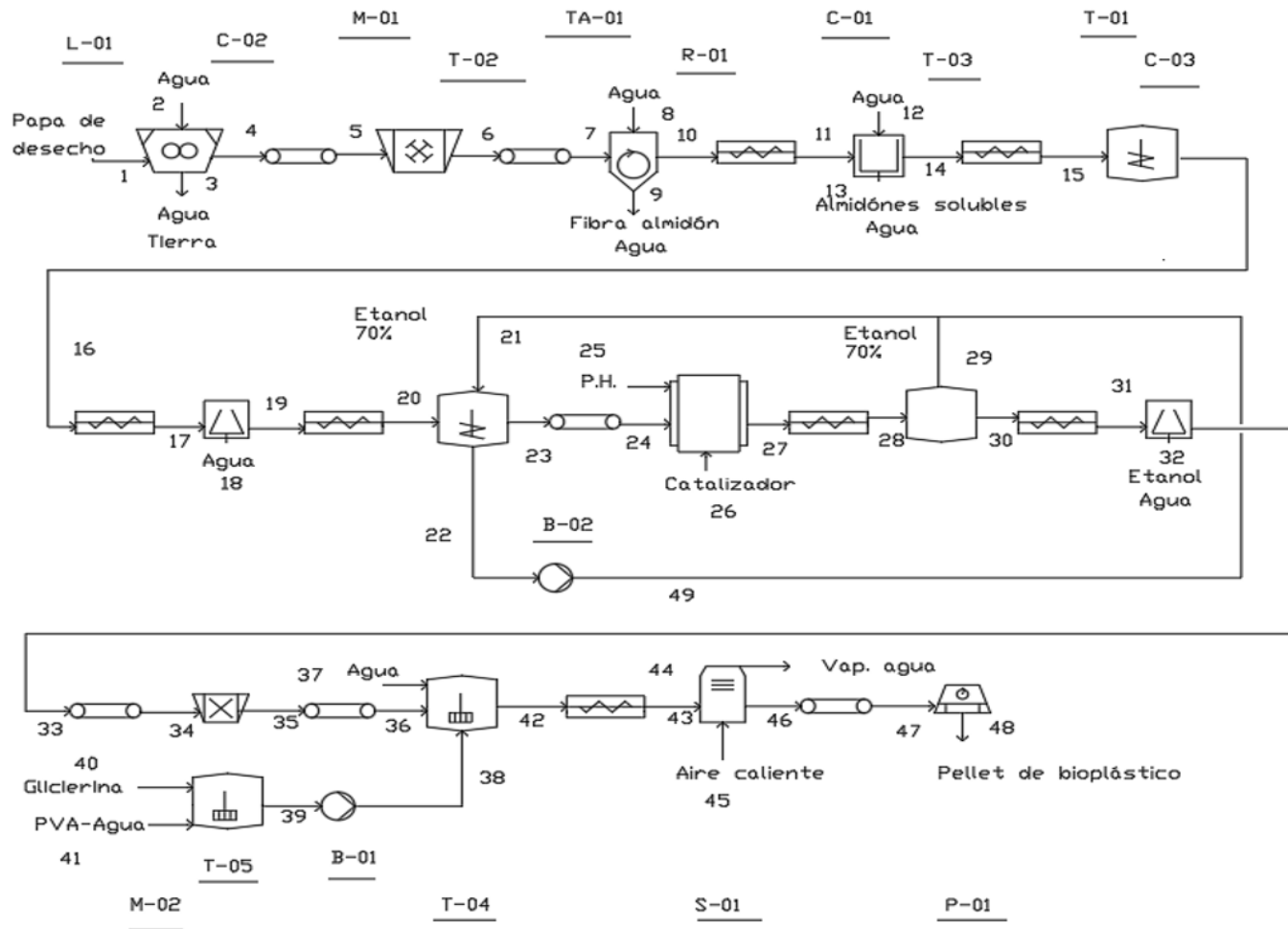
El caudal de producción se determinó en base a la producción anual de papas en la provincia de Carchi, representativo a 196.016,67 toneladas (Chuquín, 2.012). El 6% en peso de la cantidad mencionada corresponde a papas de desecho; sin embargo, el 75% en peso de papas de desecho es destinado para la alimentación del ganado. El porcentaje restante, la consideración de que no se recoge toda la materia prima disponible de los distintos agricultores, el porcentaje de almidón y la eficiencia de oxidación permite tener una disponibilidad de 83,07 toneladas de papas de tercera al mes. Por lo tanto, el caudal de alimentación se calculó en 922,27 kilogramos para un ciclo de producción. A partir del caudal de entrada y de los cálculos a través de las distintas operaciones unitarias, se tiene un caudal de producción de 93,88 kg de bioplástico producido en



un ciclo. Cabe recalcar que se realizarán tres ciclos por día, cada uno con una duración aproximada de 7 horas y quince minutos.

### **3.2 Diagrama de flujo**

El diagrama de flujo se desarrolló en función de las operaciones unitarias necesarias para la obtención del pellet de bioplástico y en base a la representación de las mismas en el diagrama de bloque ubicado en el Capítulo 2, Figura 1 correspondiente a las bases de diseño.



Equipo	Código	Equipo	Código
Balsa de lavado	L-01	Tanque de precipitación	T-03
Molino de martillos	M-01	Centrifugadora 3	C-03
Tamizador	TA-01	Triturador	M-02
Centrifugadora 1	C-01	Tanque de mezclado	T-04
Tanque de mezclado	T-01	Tanque de mezclado	T-05
Centrifugadora 2	C-02	Secador	S-01
Tanque de esterilización	T-02	Pelletizadora	P-01
Reactor	R-01	Bomba 2	B-02
Bomba 1	B-01	-	-

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso

### 3.3 Modo de operación

El proceso de obtención del bioplástico en pellets está dividido en tres etapas, las mismas que se explicarán a continuación en base al diagrama de flujo mostrado en la figura 2; la primera etapa de extracción y pretratamiento del almidón, está representada por las corrientes (1-20) y la 23; la segunda etapa de modificación química del almidón por medio de la oxidación está representada por las corrientes (24-27); y la tercera etapa de obtención del producto está caracterizada por la adición de plastificantes representado por las corrientes 28, (30-31) y (33-48). Por otro lado, las corrientes (21-22), 29, 32 y 49 corresponden a la recirculación de etanol para su aprovechamiento en el tanque de esterilización (T-02) y en el tanque de precipitación (T-03). La primera etapa empieza con el ingreso de las papas de desecho como materia prima principal a la balsa de lavado (B-01); se elimina el 1% en masa correspondiente a la tierra y el agua para la operación. Luego, por medio de un molino de martillos (M-01) se disminuye el tamaño de la papa para facilitar su separación del almidón correspondiente al 14,08% en peso de la papa; esta operación toma lugar en un tamizador industrial (TA-01) que cuenta con una corriente de entrada de agua para facilitar el proceso de separación. Posteriormente, el almidón separado ingresa a la centrifugadora (C-01) con la finalidad de eliminar en su mayoría agua y también almidones solubles que representan el 0,1% en masa de los almidones totales. El almidón insoluble recuperado es llevado a un tanque de mezclado compuesto por un agitador de tipo helicoidal para la mezcla constante del producto. Nuevamente, el proceso continúa con una centrifugadora (C-02) para la eliminación de la mayor cantidad de agua posible antes de ingresar al tanque de esterilización (T-02) que cuenta con una entrada de etanol al 70% v/v; esta operación tiene el objetivo de evitar la formación de espuma que dificultaría la oxidación del almidón que se lleva a cabo en un reactor con chaqueta térmica y agitación (R- 01). Debido a la dificultad de centrifugar

la solución resultante se realiza primero una precipitación del almidón oxidado con etanol al 70% v/v en un tanque (T-03). La centrifugadora (C-03) permite la separación de etanol y agua del almidón oxidado. Posteriormente, el almidón es triturado (M-02) y es mezclado con los plastificantes. En el tanque (T-05) se da la mezcla entre PVA, agua y glicerina y es bombeado a un tanque (T-04) para la mezcla final con el almidón modificado. El bioplástico obtenido pasa por un proceso de secado a 67°C durante 104 minutos y por último ingresa a la peletizadora dando lugar al producto deseado.

### 3.4 Balances de masa y energía

El balance de masa se realizó a partir del caudal de entrada definido en la sección 3.1 y avanzando por las distintas operaciones unitarias hasta la obtención del bioplástico. Por medio de los balances de masa se determinó los flujos másicos y las composiciones de todas las corrientes a lo largo del proceso. La importancia del balance de masa radica en el conocimiento del paso de la materia prima hasta la transformación en el producto deseado tomando en cuenta las modificaciones químicas. El balance de masa nos indica también la capacidad de los equipos de acuerdo a las entradas correspondientes. datos importantes que servirán al momento de dimensionar los equipos. Para los cálculos, se tomó a consideración las pérdidas en masa de los equipos con la finalidad de tener datos más acercados a la realidad, la tabla se encuentra en el Anexo B, tabla 18.

Tabla 2. Balance de masa para un ciclo de producción

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
922,27	6018,13	6027,36	785,82	785,82	768,61
<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
768,61	250,58	718,19	300,80	300,80	65,42
<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
259,70	105,82	105,82	104,50	104,50	4,16
<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>

99,65	99,65	21,16	20,08	99,51	99,51
<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
4061,44	3,91	3993,29	3993,29	47,65	3990,43
<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>
3990,43	3896,45	92,39	92,39	90,37	90,37
<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>
122,44	435,80	435,80	1,81	439,51	640,50
<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>
640,50	929,46	418,26	95,79	95,79	93,88
<b>49</b>					
20,08					
Las filas en blanco representan el número de caudal en el diagrama de flujo					
Las filas sombreadas representan el caudal total en kilogramos					

Tabla 3. Requerimiento energético de los equipos del proceso

Equipo	Número de Equipos	Potencia [kW]
<b>Máquina de lavado</b>	1	10
<b>Molino de martillos</b>	1	11
<b>Criba vibratoria</b>	1	0,75
<b>Centrifugadora</b>	3	28
<b>Tanque de mezclado</b>	3	0,013
<b>Secador</b>	1	24,98
<b>Tanque de esterilización</b>	1	0,017
<b>Reactor</b>	1	0,44
<b>Tanque de precipitación</b>	1	0,25
<b>Peletizadora</b>	1	55,22
<b>Bomba</b>	2	0,0013
<b>Bandas transportadoras</b>	6	0,512
<b>Tornillo sinfín</b>	7	4,3
<b>Máquina trituradora</b>	1	1,5

## **CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA PLANTA**

Una vez establecido las capacidades de los equipos mediante los balances de masa y requerimientos de cada operación unitaria, el siguiente paso es el diseño de la planta que guarda relación con el dimensionamiento de los equipos ubicado en el Anexo A, sección 8.3. Por lo tanto, para el diseño de la planta se determina el equipo adecuado de acuerdo a las operaciones unitarias que se llevarán a cabo y como paso siguiente se procede a dimensionar individualmente los equipos. Algunos equipos dentro del proceso no es necesario dimensionarlos en su totalidad ya que esto es de conocimiento reservado para las fábricas que se encargan de elaborarlos, para estos tipos de equipos se seleccionó un equipo ya establecido que cumpla con la capacidad de procesamiento requerida.

Dentro del diseño de la planta, se optó por separar los equipos según las etapas del proceso mencionadas en la sección 3.3. El dimensionamiento específico de los equipos separados por etapas se encuentra en el Anexo A, secciones (8.3.1 a 8.3.12).

### **4.1 Selección y dimensionamiento de los equipos de la primera etapa**

La primera etapa es la más extensa del proceso y guarda relación con la extracción del almidón de la papa de desecho y su pretratamiento antes de la modificación química. Comienza con la balsa de lavado la cual va eliminar las impurezas presentes en las papas, este equipo tiene una capacidad para tratar 922,27 kg de materia prima. Luego, la papa es transportada al molino de martillos para reducir el tamaño de esta y permitir la facilidad de operación en las secciones siguientes. Posteriormente, se encuentra el tamizador, equipo indispensable para separar el almidón; este equipo tiene una capacidad para tratar una alimentación de 768,61 kg de papa. Dentro del proceso de la etapa de extracción se utilizan dos centrifugas; ambas tienen como

función principal la separación del agua del almidón y la primera de ellas también separa los almidones solubles. Los últimos dos equipos de esta etapa son tanques con agitación elaborados con acero inoxidable SS-304; el primero de ellos realiza el proceso de mezclado y concentración del almidón y tiene una capacidad de 105,82 kg de alimentación tomando en cuenta almidón y agua; el segundo tanque, realiza el proceso de esterilización y posee una capacidad de 120,81 kg.

#### **4.2 Selección y dimensionamiento del equipo de la segunda etapa**

La segunda etapa consta de un solo equipo, el reactor agitado con chaqueta (R-01), el cual tiene una capacidad de 4164,86 kg entre peróxido de hidrógeno-agua acompañado del catalizador y el almidón proveniente de la primera etapa. En esta sección se produce la modificación química del almidón por medio de la acción del agente oxidante. La presencia de grupos carboxilos y carbonilos es un indicativo del grado de oxidación así como también la concentración del agente oxidante. La importancia del proceso y el porqué de la modificación química se encuentra detallada en la sección 1.6.

#### **4.3 Selección y dimensionamiento de los equipos de la tercera etapa**

La tercera etapa inicia con la salida del almidón modificado del reactor; este es transportado a un tanque de precipitación con una entrada de etanol al 70% v/v, la capacidad del tanque es de 4.040,94 kg. Posteriormente, la solución resultante pasa por una centrifugadora que ayuda a la separación de almidón del etanol y agua presentes. Paso siguiente, se encuentra el triturador para disminuir el tamaño del almidón modificado, tomando en cuenta la futura peletización. Luego, están los tanques de mezclado en donde se produce la adición de plastificantes con la finalidad de mejorar las propiedades del bioplástico. Los tanques número 4 y 5 tienen una capacidad de alimentación de 648,61 kg y 441,32 kg respectivamente. El bioplástico obtenido es

llevado a un secador con geometría rectangular con la finalidad de eliminar agua. El último paso corresponde a la peletización, la cual cuenta con una capacidad de 95,79 kg por ciclo.

#### **4.4 Selección y dimensionamiento de equipos adicionales**

Los equipos adicionales en el proceso corresponden a bandas transportadoras, tornillos sin fin y bombas centrífugas. Los tres equipos mencionados cumplen con la función de transportar los distintos fluidos a través de los equipos principales. Las bandas transportadoras son empleadas en el transporte de sólidos, los tornillos sin fin para el transporte de sólidos con cierta cantidad de fluido que por lo general es agua y las bombas netamente para el transporte de líquidos como en el caso de los tanques de mezclado (T-04),(T-05) y en la recirculación del etanol. Las características principales de estos equipos se encuentra en Anexos A, sección 8.3.16.

## **CAPÍTULO 5: ANÁLISIS ECONÓMICO**

En este capítulo se analizará el aspecto económico del proyecto, empezando por la estimación de los costos de implementación de la planta teóricamente, así como la estimación del costo de los equipos basados en su actual disponibilidad y costos en el mercado. Las estimaciones se realizaron, haciendo uso de métodos factoriales como el de factor de instalación de Lang, de Hand y el método factorial detallado. Se considerará como componentes de costos en este proyecto los costos totales de capital fijo, capital de trabajo, costos variables y fijos de producción. Posteriormente, se revisará los ingresos de la planta tomando a consideración ciertos aspectos como las ventas anuales, margen bruto, beneficios bruto y beneficio neto, entre otros. Por último,



se determinará el tiempo de recuperación de la planta y la rentabilidad de la misma en relación a las ganancias. La metodología se encuentra explicada en el Anexo A, sección 8.4

### **5.1 Estimación de costo ISBL según los tres métodos**

A partir del dimensionamiento de los equipos se determinaron parámetros importantes para la estimación teórica de costos; según la literatura, algunos de estos parámetros son: volumen, área, masa, potencia, caudal másico, longitud, etc. Por otro lado, las estimaciones de mercado son obtenidas a partir de cotizaciones de equipos que se acoplen al proceso y que tengan la capacidad requerida según lo ofertado en catálogos en línea de proveedores extranjeros.

La estimación del costo de una parte de la planta se calculó con tres métodos: el primero de ellos corresponde a la aproximación según Lang donde se utiliza un factor de instalación según el tipo de procesamiento de la planta, ya sea procesamiento principalmente de sólidos, de líquidos, o mixto. Para el proyecto se utilizó un factor de 3,63 tomando en cuenta que este factor representa a una planta de procesamiento con mezcla de fluidos y sólidos. El segundo método o aproximación de Hand utiliza dos tipos de factores: el factor de Hand o también conocido como factor de instalación, establecido según la literatura para los diferentes equipos y el factor del material. El último método es el factorial detallado que incluye factores de: instalación de tuberías, levantamiento de equipos, trabajo eléctrico, trabajo civil instrumentación, estructuras y aislamiento. Estos factores fueron seleccionados en función del tipo del proceso: líquidos, líquidos-sólidos y sólidos en cada equipo del proceso.

## 5.2 Estimación de la inversión de capital fijo, capital de trabajo y costos de producción

En el Anexo E, se encuentran los cálculos detallados correspondientes a esta sección.

### 5.2.1 Inversión de capital fijo

Una vez establecido la estimación de costo de una parte de la planta, se procede a calcular la inversión del capital fijo que es básicamente la parte inmueble y física de la planta. La inversión de capital fijo está compuesta por: ISBL, OSBL, Costos de ingeniería y Costos de contingencia. El ISBL (del inglés “Inside Battery Limits”) toma en cuenta equipos ligados directamente al proceso, piezas a granel, obras civiles, trabajos de instalación, costos de especialistas, alquiler de equipos, horarios de trabajo, sobretiempos, condiciones climáticas adversas, patentes, etc. Sin embargo, no todos estos parámetros corresponden a este proyecto; lo más importante son los costos de los equipos. El capital fijo se entiende como la inversión necesaria para el levantamiento de la planta al largo plazo.

Tabla 4. Costos ISBL a partir de los tres métodos

<b>Método - Aproximación</b>	<b>Costo de la planta [USD \$]</b>
A. Lang	2.763.919,40
A. Hand	2.747.338,81
M. Factorial detallado	2.759.312,68

El OSBL (Outside Battery Limits) abarca costos de modificaciones con respecto a la infraestructura y es importante porque implica un impacto en la comunidad o a sus alrededores en cuanto al consumo y descarga de agua, tráfico, etc. Los costos de ingeniería son costos relacionados al diseño detallado y construcción como sistemas de tuberías, sistemas de control, simulaciones, modelos a escala, búsqueda de ítems principales y a granel, costos de supervisión, gastos administrativos, etc. Los costos de contingencia son importantes para los posibles cambios

e imprevistos a lo largo del proyecto, estos incluyen: cambios de moneda, fluctuaciones de mercado, cambios de precios, cambios en el alcance del proyecto, errores en estimación de costos, etc. Estos costos suelen ser estimados como porcentajes del ISBL, resaltando la importancia del cálculo de este factor a través de varias formas.

Tabla 5. Inversión de capital fijo

<b>Costos</b>	<b>Valor [USD \$]</b>
Costo ISBL	2.751.529,66
Costo OSBL	1.100.611,87
Costos de Ingeniería	385.214,15
Costos de Contingencia	385.214,15
<b>TOTAL</b>	<b>4.622.569,83</b>

### **5.2.2 Capital de trabajo y costos de producción**

El capital de trabajo está compuesto por el inventario de las materias primas, inventario de repuestos, inventario de productos y subproductos, créditos pendientes, cuentas por cobrar, efectivo en caja, mano de obra, etc. Por otro lado, los costos de producción se dividen en: costos fijos y variables. Los costos fijos de producción son independientes de la producción como tal, se toma en cuenta la mano de obra de operación, supervisión, gastos salariales directos, mantenimiento, impuestos sobre la propiedad y seguros, alquiler de tierra, gastos medioambientales, licencias, permisos, gastos generales, etc. Por otro parte, los costos de producción variables dependen de la velocidad de producción y se toma en cuenta las materias primas utilizadas, reactivos, embalaje, transporte, tratamiento de efluentes y servicios como: combustible utilizado en calentadores, vapor, agua de enfriamiento, aire, electricidad, etc. Los cálculos están ubicados en el Anexo E.4 – E.6.

Tabla 6. Costos de producción: Fijos y Variables

<b>Costos de producción</b>	<b>Valor [USD \$]</b>
Costos fijos de producción	310.692,00
Costos variables de producción	27.799,88
<b>TOTAL</b>	<b>338.491,88</b>

### 5.3 Estimación de ingresos y flujo de caja

Los ingresos están relacionados a la venta de productos principales y subproductos; en este proyecto, el único producto obtenido es el bioplástico en pellets. El caudal de producción se determinó a través del balance de masa y el precio de venta se estableció en función del crecimiento del mercado en Ecuador, la innovación del producto y su mercado libre de competencia. El margen bruto está definido como la suma de los ingresos menos los costos de materia prima. Posteriormente se calcula el beneficio bruto, beneficio neto y el ingreso imponible. Los cálculos están ubicados en el Anexo E.7.

Tabla 7. Estimación de Ingresos

<b>Ingresos</b>	<b>Valor [USD \$]</b>
Margen Bruto	1.507.582,59
Beneficio Bruto	1.486.463,36
Beneficio Neto	1.261.137,96
Costos de producción [CCOP]	338.491,88

### 5.4 Análisis de recuperación y rentabilidad

El tiempo de recuperación se calculó mediante la inversión inicial total o inversión de capital fijo dividida para el beneficio neto. El tiempo de recuperación calculado es de 3,9 años. Posteriormente, se calculó la tasa interna de retorno o TIR y el Valor actual Neto o VAN dando como conclusión un proyecto rentable y con amplia aceptación de la comunidad dado por los valores positivos encontrados entendidos como ganancias.

Tabla 8. Análisis de recuperación y rentabilidad del proyecto

<b>Tiempo de recuperación [años]</b>	3,9
<b>Tasa interna de retorno [TIR]</b>	25%
<b>Valor actual Neto [VAN]</b>	3.070.626,71

### 5.5 Análisis de flexibilidad económica con respecto al precio de venta del producto

El bioplástico en pellets a base de distintas fuentes de biomasa, especialmente de almidón de maíz, tiene un costo entre \$6,00-10,00 el kilogramo según una plataforma de ventas. Por lo tanto, para realizar el análisis de flexibilidad económica en cuanto al precio se toman a consideración varios aspectos:

- Precio del producto en el mercado
- Oportunidad de mercado en el Ecuador
- Complejidad del proceso
- Significado de la implementación del producto como alternativa al plástico sintético

Tomando a consideración estos aspectos, se analizó tres factores: el tiempo de recuperación, la tasa interna de retorno (TIR) y el valor actual neto (VAN) en función de los siguientes precios del producto: \$10,00, \$12,00, \$14,00, \$16,00, y \$18,00 por kilogramo.

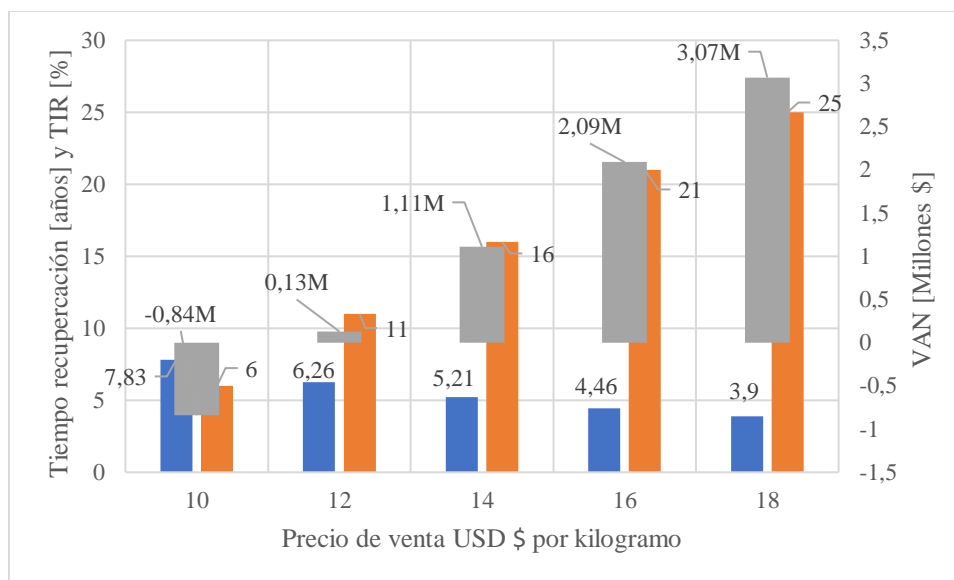


Figura 3. Diagrama de barras: precio de venta frente al tiempo de recuperación, TIR y VAN

En la figura 3 se observa la relación del precio de venta del bioplástico en pellets en función del tiempo de recuperación de la inversión estimada para la implementación del proyecto, el TIR y el VAN. Los dos primeros, tiempo de recuperación y monto de inversión, se encuentran ejemplificados con respecto al eje de las ordenadas lado izquierdo con colores azul y anaranjado, respectivamente. Por otro lado, el VAN está ejemplificado en el eje de las ordenadas lado derecho con color gris. Cada barra indica el precio establecido según el análisis anterior. A medida que aumenta el precio de venta, el tiempo de recuperación disminuye. Para un precio de \$10,00 se tiene un tiempo de 7,83 años como la relación más alta, por otro lado para un precio de \$18,00 se tiene un tiempo de 3,9 años como la relación más baja y por ende más satisfactoria.

En la figura 3 también se observa la relación del precio de venta en función del TIR que está ligada a la rentabilidad de hacer una inversión o también puede entenderse como el porcentaje de beneficio o pérdida con respecto a la inversión. A medida que aumenta el precio de venta aumenta el TIR, para un precio de \$10,00 se tiene un TIR de 6%, mientras que para un precio

de \$18,00 el TIR se incrementa y llega a un máximo de 25%. El análisis en esta gráfica es que para cualquier precio de venta se obtiene un porcentaje de retorno positivo, indicando que el proyecto sería rentable en cualquiera de los casos.

En la figura 3 también se observa la relación del precio de venta en función del VAN el cual es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esta inversión (Morales, 2.014). A medida que aumenta el precio, el VAN también aumenta siendo directamente proporcionales. En el primer caso con un precio de \$10,00 el VAN es negativo por lo tanto se generan pérdidas en vez de ganancias y este caso es descartado. Los demás precios presentan un VAN positivo siendo el último el más rentable.

En conclusión, el único caso totalmente descartado es el que presenta un precio de venta de \$10,00. Según el análisis, a partir de un precio de \$12,00 en adelante se obtienen ganancias. Ahora, el tiempo de recuperación es muy importante; mientras menos sea mejor y considerando que en el Ecuador no hay competencia y que el proceso de elaboración es costoso y extenso, se fija un precio de \$18,00 por kilogramo de bioplástico lo que resultaría en un TIR del 25% y un VAN de \$3.070.626,71 .

## **5.6 Análisis de flexibilidad económica con respecto a la cantidad necesaria de etanol en el tanque de precipitación**

En esta sección se discutirán tres opciones con respecto a la variación del caudal de etanol de alimentación el tanque de precipitación. El motivo de este análisis es que, según la literatura, el caudal de etanol debe ser igual a la suma de volúmenes de los distintos componentes en la salida

del reactor. Sin embargo, esta literatura corresponde a un proyecto a escala laboratorio, en donde las cantidades de reactivos o sustancias químicas no de la magnitud como en el caso a escala industrial. De esta manera, se analizarán tres caudales en comparación con el tiempo de recuperación, TIR y el VAN.

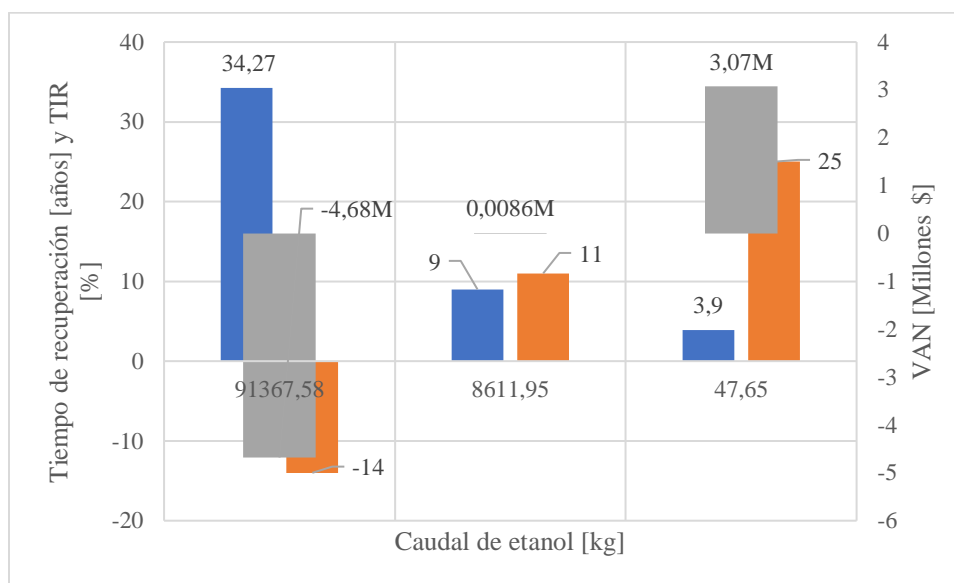


Figura 4. Diagrama de barras: caudal de etanol frente al tiempo de recuperación, TIR y VAN

En la figura 4 se observa la comparación entre los tres caudales en función de los parámetros establecidos para determinar si un proyecto es rentable. Para el primera caudal, se tiene un tiempo de recuperación de 34,27 años, mientras que, para el caudal dos y tres 9 y 3,9 años respectivamente. Es lógico decir que a menor cantidad de etanol utilizada se abaratan los costos de materia prima y por ende el tiempo de recuperación se va acortando. También se analiza el TIR, con resultados de -14%, 11% y 25%. Por el momento, se puede concluir que el primer caso es descartable al dar un valor negativo indica que hay pérdidas en vez de ganancias. En la figura también se analiza el VAN y se confirma que el primer caso debe ser descartado al dar un valor negativo.



Este análisis se realizó para indicar que con un caudal como lo indica la literatura es inviable para un proyecto a escala industrial, demostrado a través del TIR y del VAN. Y a su vez, este caudal puede contrastarse con la asunción propuesta de caudal tres en donde se consideró una entrada de etanol (1:1) en relación a la salida de almidón oxidado del reactor. Sin embargo, se consideró importante encontrar un caudal máximo de etanol que permita que el proyecto sea rentable, y ese es el caudal considerado en el caso 2. Si se utilizase un caudal de alimentación de 8611,95 kg el proyecto sería rentable al largo plazo, tomando a consideración que su tiempo de recuperación es de 9 años. Entonces, a partir de caudales menores al máximo caudal establecido, el proyecto será rentable. Cabe recalcar que el tercer caso, al tener una fracción pequeña de etanol en la salida de la centrifugadora (C-03), no se mezcla con la corriente que sale del tanque de esterilización y por ende no hay una columna de destilación porque resultaría inviable; de esta manera, la salida de esterilización es recirculada directamente sin pretratamiento. En este sentido, el caso 2 se comparó tomando en cuenta las mismas especificaciones, es decir, sin columna de destilación. En este caso sí podría ser factible incorporar una columna de destilación con la unión de las dos corrientes antes mencionadas para recuperar etanol y abaratar los costos de materia prima.

Se recomienda realizar experimentos a escala industrial en esta sección del proyecto, para determinar experimentalmente cuánto se necesita de etanol para precipitar el almidón oxidado y partir de ese caudal analizar la rentabilidad de la planta.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los plásticos sintéticos no biodegradables provenientes de la industria petroquímica se encuentran en un sin número de artículos de uso diario, desde envases de alimentos y utensilios de cocina hasta armas de fuego. Estos plásticos por lo general son considerados de un solo uso y son desechados indiscriminadamente, siendo este el origen de un problema grave, no solo en el Ecuador, sino en todo el mundo. Por este motivo, los bioplásticos bio originados y biodegradables son considerados una alternativa viable a los plásticos sintéticos los cuales no son biodegradables y su fuente petroquímica no es renovable.

En este proyecto se realizó el análisis de factibilidad técnico económico de una planta de producción de bioplástico en pellets teniendo a las papas de desecho de la provincia del Carchi en Ecuador como la materia prima principal con un flujo de alimentación de 922,27 kg de papas, para una producción de 93,88 kg de bioplástico en pellets en un ciclo de producción. A partir de las características que presenta el bioplástico tales como resistencia mecánica, resistencia térmica, facilidad de elongación, etc, se logró definir el mercado al cual estaría direccionado el producto; en este sentido, las fundas plásticas para transportar compras son los artículos más comunes de un plástico sintético no biodegradable como el polietileno y con características similares.

El proceso de producción se definió mediante tres etapas: la extracción y el pretratamiento del almidón, la modificación química del almidón y el tratamiento posterior caracterizado por la adición de plastificantes como el PVA y la glicerina. En primera instancia se investigó el proceso de extracción de almidón de papas y se seleccionó el agente más apropiado para la oxidación del mismo. La comparación entre el hipoclorito de sodio y el peróxido de hidrógeno fue realizada mediante varios parámetros y características importantes de ambos compuestos, siendo este último el elegido.

El diseño del proceso y de la planta se logró satisfactoriamente; se determinó las operaciones unitarias involucradas y se plasmó en los diagramas de bloque y de flujo. A partir de esto, se llevó a cabo los balances de masa y energía para observar la transformación de la materia prima hasta la obtención del producto final y el requerimiento energético de los equipos. Una vez ejecutado los cálculos, se seleccionó los equipos adecuados para el cumplimiento de las operaciones a lo largo del proceso y se dimensionó según la capacidad de cada equipo.

A continuación, se realizó el análisis económico que permitió ejemplificar la rentabilidad y factibilidad de implementación de la planta a través de los resultados generados. Tomando como referencia el mejor conjunto de condiciones. El tiempo de recuperación se estimó en 3,9 años con un TIR y un VAN de 25% y \$3.070.631,72 respectivamente, con un precio de producto establecido de \$18,00 por kilogramo. Adicionalmente, se realizaron dos análisis de flexibilidad: uno en cuanto al precio de venta en el mercado del producto, y otro en cuanto al caudal de etanol en la entrada al tanque de precipitación. En el primer caso, se tomó a consideración precios de producto de \$10,00, \$12,00, \$14,00, \$16,00 y \$18,00 por kilogramo. Según el análisis, a partir de un precio de \$12,00 por kilogramo en adelante se obtendrían ganancias, mayores beneficios económicos, y menor tiempo de recuperación de la inversión.

En el segundo caso, se examinó el caudal de alimentación de etanol al tanque de precipitación. Si se toma como referencia la información bibliográfica de un experimento a escala laboratorio, el proyecto sería inviable de acuerdo a las razones mencionadas en la sección 5.6. Por tal motivo, se optó por encontrar un caudal máximo de etanol para generar ganancias. Es decir, a caudales mayores que el encontrado, el proyecto seguiría siendo inviable mientras que a caudales menores incluido el seleccionado composición (1:1) con el almidón oxidado proveniente del reactor, el proyecto es rentable.

Se recomienda realizar un estudio empírico previo a la implementación de la planta para definir el caudal de etanol idóneo. En caso de ser un caudal mayor al considerado, se sugiere adecuar una columna de destilación para recuperar la mayor cantidad de etanol para su reutilización. En este proyecto, se limitó a poner este equipo debido que la concentración de etanol producto de la salida del tanque de precipitación es muy baja y resulta más factible recircular la corriente saliente del tanque de esterilización sin ningún pretratamiento previo.

El impacto esperado del proyecto es positivo de acuerdo a la factibilidad y rentabilidad de la planta industrial propuesta. Por lo tanto, el aprovechamiento de las papas de tercera, un producto actualmente sin valor comercial, es viable y como consecuencia la implementación de este proyecto significaría un ingreso extra a los agricultores involucrados. Esto activaría a un sector de negocios innovador en el Ecuador, y promovería el desarrollo de la comunidad por medio de un flujo monetario adicional.

## **CAPÍTULO 7: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero(ARCH). (2.020). *Reporte diario de producción*. <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec>

Ambiente Plástico. (2.019). *Implicaciones de usar plásticos biodegradables*. Editorial AP. <https://www.ambienteplastico.com/implicaciones-de-usar-plasticos-biodegradables/>

Antonieta Riera, M., & Palma, R. (2.018). *Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador* [Universidad Nacional de Cuyo, Universidad Técnica de Manabí].

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/avancesenquimica/article/viewFile/13983/21921925061>

Aranda, F., González, R., Jasso, F., & Mendizábal, E. (2015). *Absorción de agua y caracterización termomecánica de compuestos bioplásticos de fibra de almidón extruido / poli (ácido láctico) / bagazo de agave*. <https://www.hindawi.com/journals/ijps/2015/343294>

Barahona, N. (2019). *Biopolímeros capaces de reemplazar a los plásticos tradicionales*. *Ciencia Digital*. Vol.3 N4. P. 138-155.

Bonilla, R. Hoyos, J. Velasco, R. (2013). *Efecto de oxidación del almidón de yuca sobre propiedades mecánicas y térmicas de películas biodegradables*. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. Volumen 11, No 1.

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a24.pdf>

Charro, M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. [Universidad Central del Ecuador].

<http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

Chuquín, H. (2012). *Alternativas de uso de la papa de desecho en la Provincia del Carchi y la contaminación con plástico* [Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC)].

<https://revistasdigitales.upec.edu.ec/index.php/sathiri/article/view/206>

Collahuazo, M. Maldonado, N. (2012). *Fenómenos agitación*. Escuela Politécnica Nacional. Slideshare. <https://es.slideshare.net/MaryCollahuazo/fenomenos-agitacion>

Eljarrat, E., & Departamento de Química Ambiental, I. de D. A. y E. del A. (IDAEA – C. (2019). *La contaminación química del plástico, una amenaza silenciosa*.

<https://www.infobae.com/america/medio-ambiente/2019/05/09/la-contaminacion-quimica-del->

plastico-una-amenaza-silenciosa/#:~:text=La contaminación química del plástico%2C una amenaza silenciosa,-9 de Mayo&text=Cada año se producen un,y océanos de nuestro pl

EMASEO. (2.017). *El plástico tarda 100 años en descomponerse, reutilízalo.*

[http://www.emaseo.gob.ec/plastico-tarda-100-anos-descomponerse-](http://www.emaseo.gob.ec/plastico-tarda-100-anos-descomponerse-reutilizalo/#:~:text=El%20pl%C3%A1stico%20tarda%20m%C3%A1s%20o,aproximadamente%20500%20a%C3%B1os%20en%20desintegrarse.)

[reutilizalo/#:~:text=El% 20pl% C3% A1stico% 20tarda% 20m% C3% A1s% 20o,aproximadamente% 20500% 20a% C3% B1os% 20en% 20desintegrarse.](http://www.emaseo.gob.ec/plastico-tarda-100-anos-descomponerse-reutilizalo/#:~:text=El%20pl%C3%A1stico%20tarda%20m%C3%A1s%20o,aproximadamente%20500%20a%C3%B1os%20en%20desintegrarse.)

Enar. (n.d.). *Hoja de seguridad PVA.* <http://enar.com.co/wp-content/uploads/2016/10/MSDS-PVA-2-1.pdf>

European Bioplastics. (2.020). *Frequently asked question on bioplastics.* 5.

[https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP\\_FAQ\\_on\\_bioplastics.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/EUBP_FAQ_on_bioplastics.pdf)

Fernández, L. (2.020). *Producción de plástico a nivel mundial de 1950 a 2018.*

<https://es.statista.com/estadisticas/636183/produccion-mundial-de-plastico>

Follain, N., Joly, C., Dole, P., & Bliard, C. (2.005). *Properties of starch based blends. Part 2. Influence of poly vinyl alcohol addition and photocrosslinking on starch based materials mechanical properties.* 186.

[https://www.researchgate.net/publication/223301459\\_Properties\\_of\\_starch\\_based\\_blends\\_Part\\_2\\_Influence\\_of\\_poly\\_vinyl\\_alcohol\\_addition\\_and\\_photocrosslinking\\_on\\_starch\\_based\\_materials\\_mechanical\\_properties](https://www.researchgate.net/publication/223301459_Properties_of_starch_based_blends_Part_2_Influence_of_poly_vinyl_alcohol_addition_and_photocrosslinking_on_starch_based_materials_mechanical_properties)

Gallo, P. (2017). *Determinación del rendimiento de glucosa por hidrólisis enzimática de almidones de yuca.* Universidad Nacional. Facultad de Ingeniería Química e Industrias alimentarias. <https://1library.co/document/y6ekvx4z-determinacion-rendimiento-glucosa-hidrolisis-enzimatica-almidones-esculenta-tuberosum.html>

González, F. (2015). *Recubrimientos a base de almidón/alcohol polivinílico/poliuretano para la preservación de quesos*. Universidad Nacional de la Plata.

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47923>

Greenpeace. (2020). *¿Cómo llega el plástico a los océanos y qué sucede entonces?*

<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/como-llega-el-plastico-a-los-oceanos-y-que-sucede-entonces/>

INEN. (2012). *Especificación para plásticos compostables*. Primera Edición.

<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2643.pdf>

(Ingemecánica, n.d.). Tutoriales-Tornillo sinfín:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>. Bandas Transportadoras:

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn84.html>

Koch, K., Gillgren, T., Stading, M., & Andersson, R. (2010). *Mechanical and structural properties of solution-cast high-amylose maize starch films*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.10.002>

Laufer, A. (2019). *Desarrollo y Caracterización de un nuevo Termoplástico a base de Almidón de Yuca Oxidado y Alcohol de Polivinilo para su Potencial Uso en Extrusión de Plástico*. Universidad San Francisco de Quito.

Molina, P. (2017). *Estudio preliminar del efecto de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  y  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  en la oxidación de almidón de Achira (*Canna edulis*) con Peróxido de Hidrógeno*.

<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rpolit/v39n2/2477-8990-rpolit-39-02-00067.pdf>

Morales, V. (2014). *Valor actual neto (VAN)*. Economipedia.com

Narvaez, M. (2016). Optimización de las propiedades mecánicas bioplásticos sintetizados a partir de almidón. Universidad San Francisco de Quito. Ingeniería química.

<https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6299/1/129278.pdf>

NaturePlast. (n.d.). *Fin de vida útil de los bioplásticos*. Extraído de:

<http://natureplast.eu/es/el-mercado-de-los-bioplasticos/fin-de-vida-util-de-los>

[bioplasticos/#:~:text=Biodegradabilidad%20y%20compostaje%20de%20los%20biopl%C3%A1sticos&text=%C2%ABSe%20dice%20que%20un%20material,%20hongos%20algas%20%80%A6\).&text=Es%20principalmente%20esta%20capacidad%20para,los%20que%20no%20lo%20son.](http://natureplast.eu/es/el-mercado-de-los-bioplasticos/fin-de-vida-util-de-los-bioplasticos/#:~:text=Biodegradabilidad%20y%20compostaje%20de%20los%20biopl%C3%A1sticos&text=%C2%ABSe%20dice%20que%20un%20material,%20hongos%20algas%20%80%A6).&text=Es%20principalmente%20esta%20capacidad%20para,los%20que%20no%20lo%20son.)

Parovuori, P. (1994). *Oxidation of Potato Starch by Hydrogen Peroxide*.

<https://doi.org/10.1002/star.19950470106>

Ponce, R. (2018). *Desarrollo y caracterización de un nuevo termoplástico a base de almidón de yuca oxidado y alcohol de polivinilo para su potencial uso en ingeniería de tejidos*.

Universidad San Francisco de Quito.

<http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8615/1/139600.pdf>

Primicias. (2019, October). *Ecuador consume 1,5 millones de bolsas plásticas al año*.

<https://www.primicias.ec/noticias/economia/ecuador-consume-15-millones-bolsas-plasticas/>

Quimipur. (2013). *Ficha de datos de seguridad Glicerina*.

<https://quimipur.com/pdf/glicerina-995.pdf>

Rodríguez, A. (2012). *Biodegradabilidad de materiales bioplásticos*. Instituto de investigaciones para la industria alimenticia.



[https://www.researchgate.net/publication/328676031\\_Biodegradabilidad\\_de\\_materiales\\_bioplasticos](https://www.researchgate.net/publication/328676031_Biodegradabilidad_de_materiales_bioplasticos)

Roth. (2017). *Ficha de seguridad*. <https://www.carlroth.com/medias/SDB-P023-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNzQyNTN8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oOGIvaGZkLzg5ODc2NDc4Njg5NTguYXRpb24vcGRmfDE3YTJlYWQzZjBiMDIyMzU1N2FiMjU0NDQ4MDE3MzdkZjc3ZTg5YTRlODNIYWE1MzM3MDBiMzM3YTBiZDJIJmjc>

Sangseethong, K., Termvejsayanon, N., & Sriroth, K. (2010). *Characterization of physicochemical properties of hypochlorite- and peroxide-oxidized cassava starches*. 446. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014486171000378>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una vida*. Quito-Ecuador. [https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf)

Shanks R. (2012). *Thermoplastic Starch*. Melbourne, RMIT University. DO - 10.5772/36295

Towler, G. Sinnott, R. (2008). *Principles, practice and economics of plant and process design*.

Yanes, J. (2019). *La baquelita, el primer plástico sintético que transformó al mundo*. OpenMind BBVA. Extraído de: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/la-baquelita-el-primer-plastico-sintetico-que-transformo-el-mundo/#:~:text=En%201907%20solicit%C3%B3%20la%20patente,la%20electricidad%20y%20a%20los%20solventes>.

Weather Spark. (2021). El clima promedio en Tulcán.

<https://es.weatherspark.com/y/20630/Clima-promedio-en-Tulc%C3%A1n-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por sobre todas las cosas, porque gracias a Él lo tengo todo; a mi familia, que siempre ha estado presente a lo largo de mi vida acompañándome y dándome su apoyo incondicional; a todos los profesores que he tenido en la carrera, pero sobre todo a José Álvarez y a Juan Diego Fonseca por todas las horas empleadas y de soporte para el desarrollo exitoso de este proyecto. Finalmente, agradezco a mis amigos que durante la carrera permitieron que la estancia en la Universidad sea una de las mejores vivencias que he tenido, llena de logros y fracasos, pero sobre todo de mucho esfuerzo, dedicación, compromiso y aprendizaje.

*“Perdonaré que no acierten, pero no que no se esfuercen”*

*Josep Guardiola*

## ANEXO A: METODOLOGÍA

El anexo A está compuesto por las metodologías establecidas para los siguientes capítulos: Bases de diseño, Diseño del proceso, Diseño de la planta y Análisis económico. (Capítulos 2-5).

### A.1 Bases de diseño

#### A.1.1 Selección de los agentes oxidantes más adecuados para la producción del bioplástico termoformable

- i. Recopilar investigación bibliográfica de dos tipos de agentes oxidantes: hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno.
- ii. Crear criterios de comparación para seleccionar el agente oxidante más adecuado según sus principales propiedades y características.
- iii. Realizar una investigación bibliográfica con referencia al PVA y a la glicerina como plastificantes.
- iv. Analizar la información y selección de la misma.
- v. Citar la información según las Normas APA.
- vi. Guardar todos las fuentes bibliográficas en una carpeta por facilidad de búsqueda en caso de ser necesaria.

#### A.1.2 Criterios de selección entre los dos agentes oxidantes

Tabla 9. Criterios de selección entre: Peróxido de hidrógeno e Hipoclorito de sodio


<b>Criterios de comparación</b>	<b>Peróxido de Hidrógeno</b>	<b>Hipoclorito de Sodio</b>
Conversión	5	1
Disponibilidad	5	5
Costo	4	2


Salud/ Impacto Ambiental	2	2
Tiempo de reacción	5	5
Catalizador	5	1
Facilidad de oxidación	4	2
<b>SUMA</b>	<b>30</b>	<b>18</b>

En base a las características mencionadas para los dos reactivos, se escoge el peróxido de hidrógeno principalmente porque es un compuesto amigable con el medio ambiente, por su grado de conversión con respecto al almidón y por la facilidad de manejo y uso. El rango establecido para los diferentes criterios va de 1-5 siendo 5 el más alto (mayor calificación) y 1 el más bajo (menor calificación).

### A.1.3 Ventajas y desventajas de los agentes oxidantes: Peróxido de Hidrógeno e Hipoclorito de sodio

Tabla 10. Ventajas y desventajas entre agentes oxidantes

Agente oxidante	Ventajas	Desventajas	Rombo de seguridad
Peróxido de Hidrógeno	<p>Se utiliza catalizador de cobre, hierro o tungsteno. El más eficiente es una combinación de cobre y hierro. Sin embargo, si solo se usa cobre no cambia mucho la eficiencia.</p> <p>-El catalizador aumenta el contenido de los grupos funcionales y existe un mayor grado de oxidación con el uso del catalizador.</p> <p>-Se puede dar la reacción en condiciones alcalinas o ácidas.</p> <p>-Mayores contenidos de grupo carboxilo en condiciones ácidas.</p> <p>-Conversión del 90 y 99% en un medio alcalino y ácido respectivamente.</p>	<p>-Oxidante fuerte y corrosivo. Al contacto con otro material puede causar fuego aunque por si solo es no inflamable.</p>	 <p>A safety diamond (NFPA 704) for Hydrogen Peroxide (OXY). The diamond is divided into four quadrants: top (red) with '0', bottom-left (blue) with '2', and bottom-right (yellow) with '3'. The word 'OXY' is written in the center.</p>

<p><b>Hipoclorito de sodio</b></p>	<p>-Produce almidones con viscosidad reducida de las pastas lo que favorece mayor la estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento.</p> <p>-La producción de grupos carboxilo se favorece en medios alcalinos.</p> <p>-Almidones oxidados con NaOCl en medio alcalino (pH 8-10) sirve para producción de papel, textiles, elaboración de películas</p>	<p>-La oxidación con hipoclorito es compleja debido a su conversión en diferentes especies reactantes en el medio acuoso.</p> <p>-La conversión con NaOCl con cloro al 0,5% es de 0,86%</p> <p>-El NaOCl es corrosivo, causa irritación cutánea y ocular. Es extremadamente riesgoso para la salud, es tóxico e inestable si se calienta.</p>	
------------------------------------	--	---	---

## A.2 Diseño del proceso

### A.2.1 Definición del caudal de producción y elaboración de diagramas

- i. Investigar la producción de papas en la provincia del Carchi, el porcentaje de papas de desecho y la cantidad utilizada para la alimentación del ganado.
- ii. Investigar el porcentaje de almidón presente en las papas.
- iii. Determinar el caudal de producción
- iv. Consultar el proceso de extracción de almidón en papas.
- v. Realizar el diagrama de bloques y el diagrama de flujo.

Tabla 11. Determinación del caudal de producción a partir de la materia prima principal

Producción anual total de papas en la provincia del Carchi	196.016,67	[ton/año]
Papa de desecho anual	11.761	[ton/año]
Papa de desecho para el proceso	2.940,25	[ton/año]
Se asume que no se recoge toda la MP	2.500	[ton/año]
% Almidón en papa	14,08	[%]
Almidón presente en las papas seleccionadas	352	[ton]
Eficiencia del proceso de extracción de Almidón	316,8	[ton/año]
Toneladas mensuales de almidón	26,4	[ton/mes]
Toneladas mensuales de almidón oxidado	25,08	[ton/mes]
Expectativa realista de producción/mes	20	[ton/mes]
Almidón oxidado al año	120	[ton/año]
Almidón no oxidado	126,32	[ton/año]
Papa de desecho por recolectar/año	996,81	[ton/año]
Papa de desecho por recolectar/mes	83,07	[ton/mes]
Papa de desecho por recolectar/día	2.769	[kg/día]
Papa de desecho para un ciclo	922,97	[kg/ciclo]

### A.2.2 Balance de masa

- i. Buscar las pérdidas de masa en los equipos involucrados en el proceso.
- ii. Verificación y conversión del respectivo sistema de unidades.
- iii. Estandarización de la notación científica y cifras significativas.
- iv. Verificación de la consistencia dimensional.
- v. Determinación de los procesos químicos y físicos según su clasificación: proceso batch, semi- batch y continuo.
- vi. Determinación del estado del sistema: estacionario, transitorio e inestable.
- vii. Selección de una parte específica del proceso donde se realizará el balance.
- viii. Utilizar la ecuación:

$$\text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} - \text{Consumo} = \text{Acumulación}$$

- ix. Visualización de variables conocidas e incógnitas.
- x. Tomar en cuenta las especificaciones del proceso, propiedades física, leyes, limitaciones físicas y relaciones estequiométricas.
- xi. Representación de las ecuaciones a resolver en función de las incógnitas.
- xii. Análisis de grados de libertad.
- xiii. Escribir las ecuaciones en orden de complejidad.
- xiv. Resolución de las ecuaciones a partir del método despejo-reemplazo.

### A.2.3 Balance de energía

- i. Selección de una parte específica del proceso donde se realizará el balance.
- ii. Identificar sistemas abiertos o cerrados, estacionarios o transitorios. Para sistemas cerrados utilizar:

$$\Delta U + \Delta E_K + \Delta E_P = Q - W$$

- iii. Por otro lado, para sistema abiertos utilizar:

$$\Delta H + \Delta E_K + \Delta E_P = Q - W$$

- iv. Identificar los equipos donde haya cambios de temperatura, reacción o a su vez donde existan partes móviles involucradas.
- v. Buscar la energía requerida para equipos donde no haya las condiciones del punto anterior tomando en cuenta la capacidad del equipo.
- vi. Realizar el balance de energía en los equipos que cumplan con las condiciones del punto cuatro.



### A.3 Diseño de la planta

#### Metodología para el dimensionamiento de equipos

##### A.3.1. Balsa de lavado

- Buscar un equipo que cumpla con la capacidad establecida en el balance de masa.

##### A.3.2 Triturador y molino de martillos

- Buscar un equipo que cumpla con la capacidad establecida en el balance de masa.

##### A.3.3 Tamizador

- Buscar un equipo que cumpla con la capacidad establecida en el balance de masa. Sin embargo, se puede dimensionar ciertos parámetros.
- Determinar el volumen de carga a partir de la densidad del almidón y del agua.
- Determinar el volumen del tamiz.

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

- Según la altura encontrada en Alibaba, aumentar un factor de seguridad del 15%.

##### A.3.4 Centrifugadoras

- Buscar un equipo que cumpla con la capacidad establecida en el balance de masa.

##### A.3.5 Tanques de mezclado

- Según el balance de masa, tener en claro los flujos de entrada del tanque.
- Calcular el volumen que entrará en el tanque a partir de las densidades de los componentes en los flujos de entrada.
- Utilizar la relación altura-diámetro.

$$h = 1,3d$$

- Determinar el diámetro y la altura a partir de la fórmula de volumen de un tanque.

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * h$$

- Considerar la altura en un 20% más de lo calculado anteriormente.
- Calcular el espesor de la pared según la fórmula.

$$tw = \frac{P_i * D_i}{2SE - 1,2P_i} + 0,002m$$

Donde

$tw$  = Espesor del tanque [m]

$P_i$  = Presión interna del tanque [ $N/m^2$ ]

$D_i$  = Diámetro interno [m]

$S$  = Esfuerzo máximo permisible [ $N/m^2$ ]

$E$  = Eficiencia de soldadura

- Calcular la masa del tanque con la siguiente fórmula:

$$m = \pi * D_i * h * tw * \rho_{material}$$

- Calcular el espesor de la pared para los terminales del tanque.

$$tw = D_i * \sqrt{\frac{C * P_i}{SE}}$$

Donde:

$C$  = Constante 0,1

- Calcular la masa de los terminales.

$$m = \pi * (D_i)^2 * tw * \rho_{material}$$

- Calcular la masa total.
- Calcular el diámetro del deflector, el cual no debe ser mayor a 1/12 del diámetro del tanque.
- Calcular el diámetro del agitador

$$D_a = \frac{D_i}{3}$$

- Determinar la densidad y la viscosidad de la mezcla.
- Calcular el número de Reynolds.

$$Rey = \frac{\rho * N * (D_i)^2}{\mu}$$

- Determinar el número de potencia ( $N_p$ ) según el número Reynolds y el tipo de asp

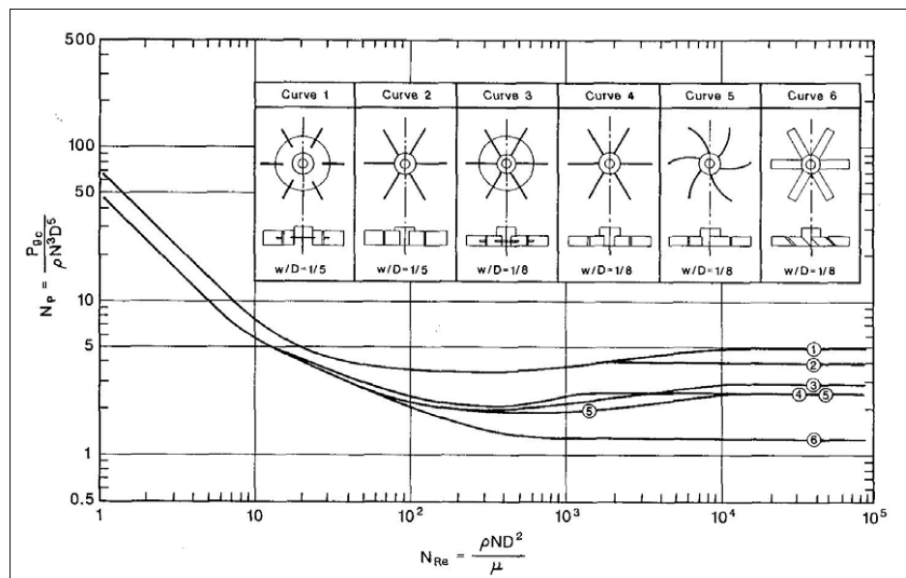


Figura 5. Número de Reynolds vs Número de potencia. Agitadores de turbina. (Towler, 2008).

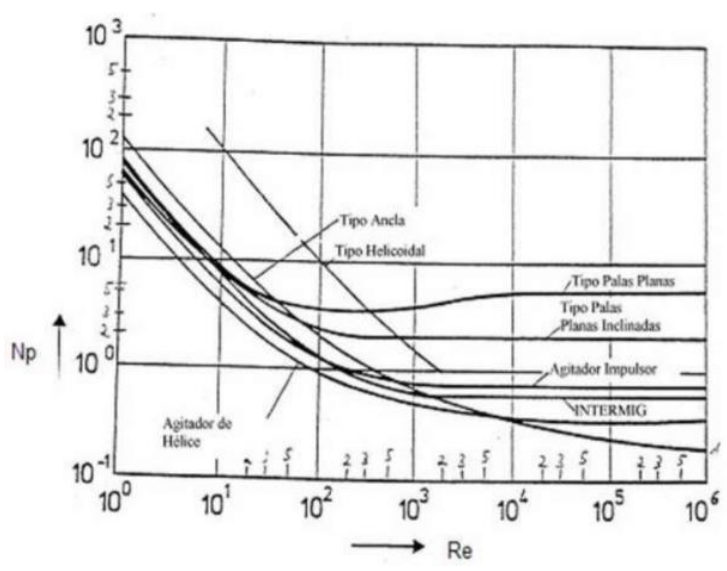


Figura 6. Número de Reynolds vs Número de potencia. Tipos de agitadores (Collahuazo, 2012).

- El tipo de aspas se lo define según la viscosidad de la mezcla

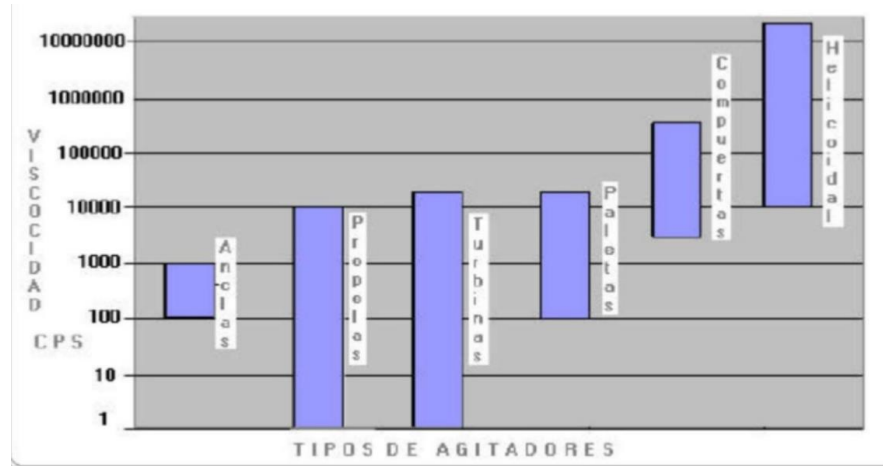


Figura 7. Tipos de agitadores vs Viscosidad. (Collahuazo, 2012).

- Calcular la potencia del agitador

$$P \left[ \frac{J}{s} \right] = N_p * \rho_{bulk} * N^3 * D_a^5$$

Donde:

$N$  = Velocidad de rotación [rps]

### A.3.6 Tanque de precipitación

- Utilizar la misma metodología del tanque de mezclado excepto el dimensionamiento del agitador.

### A.3.7 Tanque de esterilización

- Utilizar la misma metodología del tanque de mezclado.

### A.3.8 Reactor

- Utilizar la misma metodología del tanque de mezclado.
- Calcular el área de la chaqueta térmica.

$$A = 2 * \pi * r^2 * 1.2$$

- El grosor de la chaqueta térmica se calcula como el 1% del área.

### A.3.9 Secador

- Determinar el volumen de alimentación por medio del balance de masa.
- Adicionar al volumen un 15% como factor de seguridad.
- Calcular el largo, ancho y la profundidad tomando como referencia una geometría rectangular.

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

$$H = 2 \times P$$

$$A = 1.5 \times P$$

Donde:

$P$ = profundidad [m]

$V$ =volumen [ $m^3$ ]

$H$ =altura [m]

$A$ =ancho [m]

### 8.3.10 Peletizadora

- Determinar el volumen del recipiente por medio del flujo de entrada y la densidad del material.
- Utilizar la relación  $h = 1,3d$  para el dimensionamiento del diámetro y la altura del recipiente.
- Adiciona al volumen un 15% como factor de seguridad.
- Calcular el área del cilindro.

$$A_{cilindro} = 2 * \pi * r * (r + h)$$

- Calcular la fuerza y la presión del cilindro.

$$F_{cilindro} = Masa * 9,81$$

$$P_{cilindro} = \frac{F_{cilindro}}{A_{cilindro}}$$

- Calcular la velocidad de giro de los rodillos, tomando en cuenta que las revoluciones por segundo de la peletizadora es de 600.

$$n = 600 \text{ rpm}$$

$$600 \frac{rev}{min} * \frac{1min}{60s} * \frac{2\pi rad}{1 rev} = 62,83 \frac{rad}{s}$$

- Calcular la velocidad lineal de giro de rodillos por medio de la multiplicación entre la velocidad en radianes por segundo y el radio del recipiente.
- Investigar el coeficiente de rozamiento de acuerdo al material a utilizar. Para el acero inoxidable o acero el coeficiente es igual a 0,35.
- Calcular el calor generado producto de la operación.

$$Q \left[ \frac{BTU}{min} \right] = \frac{P_{cilindro} * A_{cilindro} * F_{friccion} * V_{lineal}}{778}$$

Donde

$P_{cilindro}$ : [psi]

$A_{cilindro}$ : [ $in^2$ ]

$F_{friccion}$ : Factor de fricción

$V_{lineal}$ : [pulg/min]

### A.3.11 Bandas transportadoras

- Determinar los parámetros de diseño como longitud, ancho de la cinta y la velocidad según proveedores.
- Calcular la capacidad de la banda según el balance de masa y la diferencia de altura de los equipos entre los cuales se encuentra la banda.
- Calcular el ángulo de inclinación.
- Calcular el área de la sección transversal del material.

$$Q_v = 3600 * V * A * k$$

$$k = 1 - 1,64 * \left(\frac{\theta * \pi}{180}\right)^2$$

$$\frac{\Delta H}{L} = \text{sen}(\theta)$$

Donde:

$Q_v$ : Capacidad volumétrica [ $m^3/h$ ]

$V$ : Velocidad de banda [m/s]

$A$ : Área de la sección transversal del material [ $m^2$ ]

$k$ : Coeficiente de reducción de la capacidad de transporte de la cinta por su inclinación

$\theta$ : Ángulo de inclinación

$\Delta H$ : Diferencia de altura entre los equipos antes y después de la banda [m]

$L$ : Longitud de la banda [m]

- Potencia de la cinta
- Potencia 1. Potencia necesaria para mover la cinta en vacío y cargada horizontalmente

$$P_1 = \frac{C_b * V + Q_m}{C_l * k_f}$$

$$Q_m = Q_v * \gamma$$

Donde:

$P_1$ : Potencia 1 [KW]



$C_b$ : Factor de anchura de la banda [kg/s]

$Q_m$ : Caudal másico [ton/h]

$C_l$ : Factor de longitud de la banda [ $m^{-1}$ ]

$k_f$ : Factor de servicio

$\gamma$ : Peso específico [ton/ $m^3$ ]

Tabla 7. Factor de ancho de la banda, $C_b$								
Peso específico $\gamma$ (t/ $m^3$ )	Ancho de banda (mm)							
	300	400	500	650	800	1000	1200	1400
$\gamma \leq 1$	31	54	67	81	108	133	194	227
$1 < \gamma \leq 2$	36	59	76	92	126	187	277	320
$\gamma > 2$	-	65	86	103	144	241	360	414

Figura 8. Factor de ancho de banda en función del ancho de banda y peso específico. (Ingemecánica, n.d.)

Tabla 9. Factor de servicio, $K_f$	
Condiciones de trabajo	$K_f$
Favorables, buena alimentación, bajas velocidades	1,17
Normal, condiciones estándar	1
Desfavorables, baja temperatura y alta velocidad	0,74 - 0,87
Temperaturas extremadamente bajas	0,57

Figura 9. Factor de servicio en función de las condiciones de trabajo. (Ingemecánica, n.d.)

- Potencia 2. Potencia para la elevar la carga hasta cierta altura.

$$P_2 = \frac{\Delta H * Q_m}{367}$$

- Potencia 3. Potencia necesaria para vencer rozamientos de elementos auxiliares, limpieza, guías, etc.

$$P_{3(limpieza)} = 0,3 * B * V$$

Donde:

$B$ : Ancho de la banda [m]

- Potencia total

$$P_T[KW] = P_1 + P_2 + P_3$$

- Potencia del motor eléctrico

$$P_M[KW] = \frac{P_T}{\epsilon}$$

Donde:

$\epsilon$ : Rendimiento total

$$\epsilon = \epsilon_m * \epsilon_r$$

$\epsilon_m$ : Rendimiento del motor eléctrico [85-95%]

$\epsilon_r$ : Rendimiento de la caja reductora [96-99%]

#### A.3.12 Tornillos sinfín

- Determinar los parámetros de diseño como: diámetro del canalón del transportador, velocidad de rotación y la velocidad de rotación según proveedores.
- Determinar la capacidad del tornillo según el balance de masa.

- Calcular la diferencia de altura de los equipos entre los cuales se encuentra el tornillo para conocer el ángulo de inclinación.

$$\frac{\Delta H}{L} = \text{sen}(\theta)$$

Donde:

$H$ : Diferencia de altura entre los equipos [m]

$L$ : Longitud del tornillo sinfín [m]

$\theta$ : Ángulo de inclinación [grados]

- Calcular el área de relleno del transportador

$$S = \delta * \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

$S$ : Área de relleno del transportador [ $m^2$ ]

$D$ : Diámetro del canalón transportador [m]

$\delta$ : Coeficiente de relleno

Tipo de carga	Coeficiente de relleno, $\lambda$
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,4

Figura 10. Coeficiente de relleno en función del tipo de carga. (Ingemecánica, n.d.)

- Velocidad de desplazamiento de transportador

$$V = \frac{p * n}{60}$$

Donde:

$p$ : Paso del tornillo o hélice [m]. El paso de tornillo o hélice es la distancia entre las hélices a lo largo del eje central. Este valor puede estar comprendido entre 0,5 y 1 la medida del diámetro del mismo. Este puede ser calculado en base a la siguiente tabla. Siendo el almidón clase III

Diámetro del tornillo (mm.)	Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material (*)				
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
100	180	120	90	70	30
200	160	110	80	65	30
300	140	100	70	60	25
400	120	90	60	55	25
500	100	80	50	50	25
600	90	75	45	45	25

Figura 11. Diámetro del tornillo en función del tipo de material a transportar y la velocidad. (Ingemecánica, n.d.)

- Cálculo del flujo del transportador

$$Q = 3600 * S * V * \rho * i$$

Donde:

$Q$ : Flujo del material transportado [ton/h]

$\rho$ : Densidad del material transportado [ton/m<sup>3</sup>]

$i$ : Coeficiente de disminución del flujo de material debido a inclinación

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
$i$	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Figura 12. Coeficiente de disminución en función del ángulo de inclinación. (Ingemecánica, n.d.)

- Potencia del tornillo
- Potencia H. Potencia para el desplazamiento horizontal

$$P_H[KW] = C_o * \frac{Q * L}{367}$$

Donde:

$L$ : Longitud del transportador [m]

$C_o$ : Coeficiente de resistencia del material transportado

Tipo de material	Valor de $c_o$
Harina, serrín, productos granulosos	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

Figura 13. Coeficiente de resistencia en función del tipo de material. (Ingemecánica, n.d.)

- Potencia N. Potencia para el accionamiento del tornillo

$$P_N[KW] = \frac{D * L}{20}$$

- Potencia  $P_i$ . En el caso de haber inclinación

$$P_i[KW] = \frac{Q * \Delta H}{367}$$

- Potencia total

$$P_T[KW] = P_H + P_N + P_i$$

### A.3.13 Características principales de los equipos de la primera etapa

Tabla 12. Dimensionamiento de equipos correspondientes a la primera etapa

Equipo	Características principales	Valor	Unidad
Balsa de Lavado	Capacidad	8.000	[kg]
	Dimensiones (L*W*H)	20.000*10.000*2.000	[mm]
	Potencia	10	[kW]
Molino de martillos	Capacidad	900	[kg]
	Dimensiones (L*W*H)	1.650*820*1.200	[mm]
	Potencia	11	[kW]
	Eje de velocidad	3.200	[rpm]
Tamizador industrial	Capacidad	1.400	[kg]
	Dimensiones (L*W*H)	1.000*1.000*1.200	[mm]
	Potencia	0,75	[kW]
	Volumen de carga	0,74	[m <sup>3</sup> ]
	Malla	5-325	[mm]
	Área de pantalla	0,21	[m <sup>2</sup> ]
Centrífuga 1	Capacidad/volumen	0,33	[m <sup>3</sup> ]
	Dimensiones (L*W*H)	870*530*710	[mm]
	Potencia	5,5	[kW]
	Velocidad	700	[rpm]
Centrífuga 2	Capacidad/volumen	0,0692	[m <sup>3</sup> ]
	Dimensiones (L*W*H)	1.310*910*1.030	[mm]
	Potencia	4	[kW]
	Velocidad	1.250	[rpm]
Tanque de mezclado T- 01	Capacidad/volumen	0,0701	[m <sup>3</sup> ]
	Diámetro-Altura	410-639	[mm]
	Espesor pared	2,2	[mm]
	Diámetro agitador	137	[mm]
	Potencia agitador	0,012	[kW]
	Tipo de agitador	Helicoidal	-
Tanque de esterilización T- 02	Capacidad/volumen	0,0914	[m <sup>3</sup> ]
	Diámetro-Altura	447,6-700	[mm]
	Espesor pared	2,18	[mm]
	Diámetro agitador	149	[mm]

	Potencia agitador	0,0173	[kW]
	Tipo de agitador	Helicoidal	-

### A.3.14 Características principales del equipo de la segunda etapa

Tabla 13. Dimensionamiento de equipos correspondientes a la segunda etapa

Equipo	Características principales	Valor	Unidad
Reactor agitado con chaqueta	Capacidad/volumen	3,97	[m <sup>3</sup> ]
	Diámetro-Altura	1.573-2.450	[mm]
	Espesor pared	2,64	[mm]
	Diámetro agitador	524,2	[mm]
	Potencia agitador	0,44	[kW]
	Tipo de agitador	Turbina	-
	Área chaqueta	4,66	[m <sup>2</sup> ]
	Grosor de la chaqueta	46,62	[mm]

### A.3.15 Características principales de los equipos de la tercera etapa

Tabla 14. Dimensionamiento de equipos correspondientes a la tercera etapa

Equipo	Características principales	Valor	Unidad
Tanque de precipitación T-03	Capacidad/volumen	3,98	[m <sup>3</sup> ]
	Diámetro-Altura	1.570 – 2.460	[mm]
	Espesor pared	0,64	[mm]
Centrifuga 3	Capacidad/volumen	3,93	[m <sup>3</sup> ]
	Dimensiones (L*W*H)	300*1.600*147	[mm]
	Potencia	18,5	[kW]
	Velocidad	1.250	[rpm]
Triturador	Capacidad	500	[kg]
	Dimensiones (L*W*H)	900*380*1.000	[mm]
	Potencia	1,5	[kW]
Tanque de mezclado T- 04	Capacidad/volumen	0,61	[m <sup>3</sup> ]
	Diámetro-Altura	840-1310	[mm]
	Espesor pared	2,34	[mm]
	Diámetro agitador	280	[mm]

Tanque de mezclado T- 05	Potencia agitador	2,14E-4	[kW]
	Tipo de agitador	Turbinas	-
	Capacidad/volumen	0,336	[m <sup>3</sup> ]
	Diámetro-Altura	691-1.080	[mm]
	Espesor pared	2,28	[mm]
	Diámetro agitador	230	[mm]
	Potencia agitador	1,18E-4	[kW]
Secador	Tipo de agitador	Turbinas	-
	Capacidad	661,41	[kg]
	Profundidad	2.310	[mm]
	Altura	4.630	[mm]
	Ancho	3.470	[mm]
	Volumen	37,13	[m <sup>3</sup> ]
Peletizadora	Área	16,1	[m <sup>2</sup> ]
	Capacidad/Volumen	0,09	[m <sup>3</sup> ]
	Altura	690	[mm]
	Diámetro	450	[mm]
	Área cilindro	1,28	[m <sup>2</sup> ]
	Velocidad rodillos	14	[m/s]
	Calor generado	55,22	[kW]

### A.3.16 Dimensionamiento de equipos auxiliares

Tabla 15. Dimensionamiento de equipos adicionales: Bandas transportadoras

Características	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 6
Transporte [kg]	785,82	768,61	99,51	92,39	90,37	95,79
Longitud [m]	10	10	10	10	10	10
Ancho [m]	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Velocidad [m/s]	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45
Material	Acero de carbono	Acero de carbono	Acero de carbono	Acero de carbono	Acero de carbono	Acero de carbono
Potencia [kW]	0,100888	0,10087	0,1002	0,10025	0,10025	0,0096



Tabla 16. Dimensionamiento de equipos adicionales: Tornillos sinfín

<b>Características</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>	<b>T7</b>
Transporte [kg]	300,79	105,82	104,5	99,65	3.993,28	3.990,43	640,5
Diámetro canalón [m]	0,315	0,315	0,315	0,315	0,315	0,315	0,315
Diámetro hélice [m]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Paso de hélice [m]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Velocidad [m/s]	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Potencia [kW]	0,76	0,35	0,64	0,69	0,67	0,76	0,56

Tabla 17. Dimensionamiento de equipos adicionales: Bombas

<b>Características</b>	<b>Bomba 1</b>	<b>Bomba 2</b>
Caudal [kg/h]	435,8	20,08
Potencia [kW]	0,00121	0,000129

#### **A.4 Análisis de factibilidad económica y rentabilidad de la planta industrial.**

Los métodos a utilizar son Lang, Hand y el método factorial detallado.

##### **A.4.1 Costos de equipos**

$$C_e = a + bS^n$$

Donde:

$C_e$ : Costo del equipo

$a$  y  $b$ : Constantes de costo

$S$ : Tamaño o capacidad de equipo

$n$ : Componente específico por equipo

#### A.4.2 Estimación según el método Lang

- i. Utilizar el factor de Lang correspondiente según el tipo de industria.  $F = 3,1$  para plantas con procesamiento de sólidos.  $F = 4,74$  para plantas con procesamiento de fluidos y  $F = 3,63$  para plantas con procesamiento mixto sólido-fluido.
- ii. Emplear la siguiente ecuación:

$$C_L = F \sum C_e$$

Donde:

$C_L$ : Costo según Lang

$F$ : Factor de Lang

#### A.4.3 Estimación según el método Hand

- i. Utilizar el factor de Hand dependiendo del tipo de equipo, el factor del material y realizar una multiplicación incluyendo el costo de equipo y sumar los valores.

$$C_H = \sum C_e \times f_m \times F_H$$

Donde:

$C_H$ : Costo según Hand

$f_m$ : Factor del material

$F_H$ : Factor de Hand

#### A.4.4 Estimación según el método factorial detallado

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

Donde:

$f_p$ : Factor de instalación de tuberías

$f_m$ : Factor de material

$f_{er}$ : Factor de levantamiento de equipo

$f_{el}$ : Factor de trabajo eléctrico

$f_i$ : Instalación de instrumentación y control

$f_c$ : Trabajo civil

$f_s$ : Estructuras y edificación

$f_l$ : Aislamiento o pintura

Los factores dependen del tipo de procesamiento según un fluido: líquido, sólido y sólido-líquido.

#### A.4.5 Inversión de capital fijo

- i. Cálculo de ISBL dado como el promedio del límite superior del valor calculado de Hand y el límite inferior calculado a base del método factorial detallado.
- ii. Cálculo del OSBL.

$$C_{OSBL} = 40\% \text{ del ISBL}$$

- iii. Cálculo de los costos de ingeniería.

$$C_{ingeniería} = 30\% \text{ (ISBL + OSBL)}.$$

iv. Cálculo del gasto imprevisto.

$$C_{gasto\ imprevisto} = 10\% \text{ (ISBL + OSBL)}.$$

#### A.4.6 Capital de trabajo

- i. Calcular el costo de inventario de materia prima para dos semanas productivas.
- ii. Calcular el valor de inventario de productos y subproductos para dos semanas productivas.
- iii. Calcular los costos de producción variables según los gastos de electricidad, agua potable, consumo de materias primas y transporte. En un tiempo de dos semanas.
- iv. Calcular los costos de producción fijos según el salario anual del personal, supervisión, gastos salariales, impuestos sobre la propiedad, mantenimiento, gastos generales, alquiler de tierra, costos por licencias y gastos ambientales.
- v. El labor de operación es el salario asignado a todo el personal operativo y administrativo de la empresa.
- vi. Supervisión.

$$C_{supervisión} = 25\% \text{ el labor de operación}$$

vii. Gastos directos.

$$C_{salariales} = 50\% \text{ del labor de operación + supervisión}$$

viii. Mantenimiento.

$$C_{mantenimiento} = 3 - 5\% (C_{ISBL})$$

- ix. Impuestos sobre la propiedad.

$$C_{propeidad} = 1 - 2\% (C_{ISBL})$$

- x. Alquiler de tierra.

$$C_{alquiler\ tierra} = 3 - 5\% (C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

- xi. Gastos generales.

$$C_{generales} = 65\%(C_{labor\ operación} + C_{supervisión} + C_{salariales} + C_{mantenimiento})$$

- xii. Gastos ambientales.

$$C_{ambientales} = 1\%(C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

- xiii. Inventario de repuestos.

$$C_{repuestos} = 1 - 2\%(C_{ISBL} + C_{OSBL})$$

#### **A.4.7 Ingresos generales**

- i. Margen bruto.

$$Margen\ Bruto = Ingresos - Materia\ prima$$

- ii. Costo en efectivo de producción.

$$CCOP = C_{variables} + C_{fijos}$$

- iii. Beneficio bruto.

$$Beneficio\ bruto = Ingresos - CCOP$$

- iv. Beneficio Neto.

$$\text{Beneficio neto} = \text{Beneficio bruto} - \text{Impuestos}$$

v. Depreciación Lineal

$$DL = \frac{\text{Inversión de capital fijo}}{\text{Años estimados de recuperación (10)}}$$

vi. Ingreso imponible

$$IP = \text{Beneficio Bruto} - \text{Depreciación Lineal}$$

vii. Impuestos

$$\text{Impuestos} = IP * 0,22$$

#### A.4.8 Análisis de rentabilidad

i. Tiempo de recuperación

$$T_{\text{recuperación}} = \frac{\text{inversión inicial total}}{\text{flujo de caja neto anual promedio}}$$

$$\text{inversión inicial total} = \text{capital fijo} + \text{capital de trabajo}$$

ii. Retorno de inversión

$$ROI = \frac{\text{Beneficio neto anual}}{\text{inversión inicial total}} * 100\%$$

iii. Cálculo del TIR y VAN.

## ANEXO B: CALCULOS

El Anexo B está compuesto por los cálculos: tablas relacionadas al balance de masa, tabla de pérdidas de los equipos y la cantidad de materias primas.

### B.1 Pérdidas de masa en las operaciones unitarias

Tabla 18. Pérdidas en masa de las operaciones unitarias del proceso

Operaciones Unitarias	Porcentaje de pérdida
Balsa de lavado	14
Molino de martillo	2,19
Tamizador	0,2
Centrifugadoras	0,7
Tanques/Reactor	1,25
Triturador	2,19
Secador	2,7
Peletizadora	2

### B.2 Cantidad de materias primas

Tabla 19. Cantidad requerida de materias primas a lo largo del proceso

Materia prima	Cálculo
Papa de desecho	De la producción anual de papas en el Carchi
Agua de lavado	6,54 ml por cada gramo de papa
Tierra	El 1% de la papa de desecho
Almidón	14,08% de la papa de desecho
Almidones solubles	0,1% dentro del almidón
Etanol en esterilización	Etanol al 70% (v/v)
Etanol en precipitación	Etanol al 70% (v/v) en relación (1:1) con almidón oxidado
Almidón oxidado	99% de eficiencia de oxidación
Peróxido de Hidrógeno	6,25 ml por cada 2g de almidón + 30% de exceso
Solución Peróxido de Hidrógeno-Agua	10% (v/v)
Sulfato de cobre II	0,1% (m/v)
PVA	48% del bioplástico

Solución PVA-Agua	10% (m/v)
Glicerina	2% del bioplástico
Agua en tanque 04	5% (m/v)

### B.3 Balance de masa completo

Tabla 20. Balance de masa de la corriente 1-10

Corriente [kg]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Papa de desecho	922,97									
Papa lavada				785,82	785,82	768,61	768,61			
Tierra			9,23							
Agua		6.018,13	6.018,13					250,58	50,12	200,46
Almidón									7,69	100,33
Descarte de papa									660,39	
<b>TOTAL</b>	922,97	6.018,13	6.027,36	785,82	785,82	768,61	768,61	250,58	718,19	300,80

Tabla 21. Balance de masa de la corriente 11-20

Corriente [kg]	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Agua	200,46	65,42	259,60	6,29	6,29	6,21	6,21	4,16	2,05	2,05
Almidón	100,33			99,53	99,53	98,29	98,29		97,60	97,60
Almidones solubles			0,100							
Fracción de Agua										0,02
Fracción de almidón										0,98
<b>TOTAL</b>	300,80	65,42	259,70	105,82	105,82	104,50	104,50	4,16	99,65	99,65



Tabla 22. Balance de masa de la corriente 21-30

<b>Corriente [kg/h]</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
Etanol 70%	21,16	20,05	1,11	1,11					47,65	47,06
Etanol puro	14,81	14,04	0,78	0,78					33,36	32,94
Agua	6,35	6,02	0,33	0,33					14,30	14,12
Almidón			96,38	96,38			0,95	0,95		0,94
Almidón oxidado							94,22	94,22		93,04
Agua		0,026	2,024	2,024			2,00	2,00		1,97
Fracción de agua		0,3009								0,928
Fracción etanol		0,6991								0,0084
Fracción Peróxido										0,0407
Peróxido de Hidrógeno					548,16		162,39	162,39		160,36
Fracción Almidón										0,02
Agua destilada					3.513,28		3.733,72	3.733,72		3.687,05
Solu. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O					4.061,44					
Sulfato de cobre II						3,91				
<b>TOTAL</b>	21,16	20,08	99,51	99,51	4.061,44	3,91	3.993,29	3.993,29	47,65	3.990,43

Tabla 23. Balance de masa de la corriente 31-40

<b>Corriente [kg/h]</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
Etanol 70%	47,06	47,06								
Etanol puro	32,94	32,94								
Agua	14,12	14,12								
Almidón oxidado	93,04		92,39	92,39	90,37	90,37				
Almidón	0,94	0,94								
Peróxido de H.	160,36	160,36								
Fracción de agua	0,928	0,95						0,91	0,91	
Fracción etanol	0,0084	0,008								
Fracción Peróxido	0,041	0,0412								
Fracción de almidón	0,024	0,00024	1	1	1	1				
Glicerina										1,81
Sol. PVA- H2O- Glicer.								435,80	435,80	
Fracción PVA								0,100	0,100	
Fracción glicerina								0,004	0,004	
Agua	3.689,03	3.689,03					122,44			
<b>TOTAL</b>	<b>3.990,43</b>	<b>3.896,45</b>	<b>92,39</b>	<b>92,39</b>	<b>90,37</b>	<b>90,37</b>	<b>122,44</b>	<b>435,80</b>	<b>435,80</b>	<b>1,81</b>

Tabla 24. Balance de masa de la corriente 41-48

<b>Corriente [kg/h]</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>
Bioplástico		640,50	640,50			95,79	95,79	93,88
Aire caliente					418,26			
Sol PVA-H <sub>2</sub> O	439,51							
PVA	43,38							
H <sub>2</sub> O	396,13							
Fracción PVA	0,10	0,07	0,07					
Fracción Agua	0,90	0,810	0,810	0,57	0,04	0,06	0,06	0,06
Fracción de glicerina		0,003	0,003					
Fracción bioplástico		0,141	0,141			0,94	0,94	0,94
Fracción de aire				0,43	0,96			
Aire salida				929,46				
<b>TOTAL</b>	439,51	640,50	640,50	929,46	418,26	95,79	95,79	93,88

Tabla 25. Balance de masa de la corriente 49

<b>Corriente [kg/h]</b>	<b>49</b>
<i>Etanol 70%</i>	20,05
<i>Etanol puro</i>	14,04
<i>Agua</i>	6,02
<i>Agua</i>	0,026
Fracción de agua	0,3009
Fracción etanol	0,6991
<b>TOTAL</b>	20,078

## ANEXO C: CALCULOS DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS

En el anexo C está compuesto por los cálculos y datos para el dimensionamiento de los equipos. De igual manera, los equipos se encuentran separados en función de las tres etapas del proceso.

### C.1 Equipos para la primera etapa

#### C.1.1 Balsa de lavado

Tabla 26. Dimensionamiento de la balsa de lavado

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de papa [kg]	922,27
Caudal de agua [kg]	6.018,13
Densidad de la papa [kg/m <sup>3</sup> ]	1.560
Densidad del agua [kg/m <sup>3</sup> ]	997
Volumen de papa [m <sup>3</sup> ]	0,59
Volumen de agua [m <sup>3</sup> ]	6,03
Volumen de carga [m <sup>3</sup> ]	6,62
Caudal másico total [kg]	6.941,10
Capacidad equipo [kg]	8.000

La balsa de lavado se cotizó según la capacidad del equipo

#### C.1.2 Molino de martillos

Tabla 27. Dimensionamiento del molino de martillos

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de papa [kg]	785,82
Densidad de la papa [kg/m <sup>3</sup> ]	1560
Volumen de papa [m <sup>3</sup> ]	0,5
Capacidad equipo [kg]	300-800

El molino de martillos se cotizó según la capacidad del equipo

### C.1.3 Tamizador

Tabla 28. Dimensionamiento parcial del tamizador

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de papa [kg]	768,61
Caudal de agua [kg]	250,58
Densidad de la papa [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Volumen de papa [ $\text{m}^3$ ]	0,49
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	0,25
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	0,74
<b>Dimensionamiento</b>	
Volumen del tamiz [ $\text{m}^3$ ]	0,25
Altura establecida [mm]	1.200
Altura + 15% [mm]	1.380
Carga distribuida en bandeja [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]	0,001

El tamizador se dimensionó parcialmente a partir de datos establecidos de un tamizador cotizado

### C.1.4 Centrifugadora 1

Tabla 29. Dimensionamiento de la centrífuga 1

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón-agua [kg]	300,80
Caudal de agua [kg]	65,42
Densidad almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Volumen de almidón-agua [ $\text{m}^3$ ]	0,26
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	0,066
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	0,33

La centrifugadora se cotizó en función de la capacidad del equipo

### C.1.5 Tanque de mezclado 1

Tabla 30. Dimensionamiento tanque de mezclado 1

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón [kg]	99,53
Caudal de agua [kg]	6,29
Densidad del almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Volumen de almidón [ $\text{m}^3$ ]	0,0638
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	0,0063
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	0,0701
<b>Dimensionamiento tanque</b>	
Diámetro [mm]	410
Altura [mm]	523,5
Altura + 20% [mm]	639
Espesor [mm]	2,2
S [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	137,9
P [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,101
P + 10% [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,111
E	1
Diámetro del agitador [mm]	137
Potencia del agitador [kW]	0,013
Diámetro deflector [mm]	0,034

### C.1.6 Centrifugadora 2

Tabla 31. Dimensionamiento de la centrífuga 2

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón [kg]	98,29
Caudal de agua [kg]	6,21
Densidad almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Volumen de almidón [ $\text{m}^3$ ]	0,063
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	0,0062
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	0,0692

La centrifugadora se cotizó en función de la capacidad del equipo

### C.1.7 Tanque de esterilización

Tabla 32. Dimensionamiento tanque de esterilización

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón [kg]	97,60
Caudal de agua [kg]	2,05
Caudal etanol [kg]	21,16
Densidad del almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Densidad etanol [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	789
Volumen de almidón [ $\text{m}^3$ ]	0,0626
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	0,0021
Volumen de etanol [ $\text{m}^3$ ]	0,0268
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	0,0914
<b>Dimensionamiento tanque</b>	
Diámetro [mm]	447,6
Altura [mm]	581,8
Altura + 20% [mm]	700
Espesor [mm]	2,18
S [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	137,9
P [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,101
P + 10% [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,111
E	1
Diámetro del agitador [mm]	149,2
Potencia del agitador [kW]	0,017
Diámetro deflector [mm]	37,3

## C.2 Equipo para la segunda etapa

### C.1.8 Reactor agitado con chaqueta

Tabla 33. Dimensionamiento tanque del reactor

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón [kg]	96,38
Caudal de agua [kg]	3.515,31
Caudal peróxido [kg]	548,16
Caudal catalizador [kg]	3,91
Densidad de almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Densidad peróxido [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.450
Densidad catalizador [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	3.600
Volumen de almidón [ $\text{m}^3$ ]	0,062
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	3,53
Volumen de peróxido [ $\text{m}^3$ ]	0,378
Volumen catalizador [ $\text{m}^3$ ]	0,0011
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	3,97
<b>Dimensionamiento tanque</b>	
Diámetro [mm]	1.573
Altura [mm]	2.044
Altura + 20% [mm]	2.450
Espesor [mm]	2,64
S [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	137,9
P [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,101
P + 10% [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,111
E	1
Diámetro del agitador [mm]	524,2
Potencia del agitador [kW]	0,44
Diámetro deflector [mm]	131
Área de la chaqueta [ $\text{m}^2$ ]	4,66
Grosor de la chaqueta [mm]	470



### C.3 Equipos para la tercera etapa

#### C.1.9 Tanque de precipitación

Tabla 34. Dimensionamiento tanque de precipitación

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón [kg]	95,17
Caudal de agua [kg]	3.735,72
Caudal etanol [kg]	47,65
Caudal peróxido [kg]	162,39
Densidad del almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Densidad etanol [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	789
Densidad peróxido [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.450
Volumen de almidón [ $\text{m}^3$ ]	0,0610
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	3,747
Volumen de etanol [ $\text{m}^3$ ]	0,06
Volumen peróxido	0,112
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	3,98
<b>Dimensionamiento tanque</b>	
Diámetro [mm]	1.570
Altura [mm]	2.050
Altura + 20% [mm]	2.460
Espesor [mm]	0,64
S [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	137,9
P [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,101
P + 10% [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,111
E	1

### C.1.10 Centrifugadora 3

Tabla 35. Dimensionamiento de la centrífuga 3

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón [kg]	93,98
Caudal de agua [kg]	3.689,03
Caudal etanol [kg]	47,06
Caudal peróxido [kg]	160,36
Densidad almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Densidad etanol [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	789
Densidad peróxido [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1450
Volumen de almidón [ $\text{m}^3$ ]	0,060
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	3,70
Volumen de etanol [ $\text{m}^3$ ]	0,06
Volumen peróxido [ $\text{m}^3$ ]	0,11
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	3,93

La centrifugadora se cotizó en función de la capacidad del equipo

### C.1.11 Triturador

Tabla 36. Dimensionamiento del triturador

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón [kg]	92,39
Densidad del almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560
Volumen de almidón [ $\text{m}^3$ ]	0,059
Capacidad equipo [kg]	500

El triturador se cotizó según la capacidad del equipo

### C.1.12 Tanque de mezclado (T-04)

Tabla 37. Dimensionamiento tanque de mezclado (T-04)

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de almidón [kg]	90,37
Caudal de agua [kg]	122,44
Caudal PVA-Agua-Glicerina [kg]	435,80
Densidad del almidón [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.560

Densidad del agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	997
Densidad PVA-Agua-Glicerina [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.014,28
Volumen de almidón [ $\text{m}^3$ ]	0,058
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	0,12
Volumen PVA-Agua-Glicerina [ $\text{m}^3$ ]	0,430
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	0,61
<b>Dimensionamiento tanque</b>	
Diámetro [mm]	840
Altura [mm]	1.100
Altura + 20% [mm]	1.310
Espesor [mm]	2,34
S [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	137,9
P [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,101
P + 10% [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,111
E	1
Diámetro del agitador [mm]	280
Potencia del agitador [kW]	0,00021
Diámetro deflector [mm]	70,2

### C.1.13 Tanque de mezclado (T-05)

Tabla 38. Dimensionamiento tanque de mezclado (T-05)

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de PVA-Agua [kg]	439,51
Caudal de glicerina [kg]	1,81
Densidad PVA-Agua [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.013,22
Densidad de la glicerina [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	1.260
Volumen de PVA [ $\text{m}^3$ ]	0,028
Volumen de agua [ $\text{m}^3$ ]	0,30
Volumen glicerina [ $\text{m}^3$ ]	0,014
Volumen de carga [ $\text{m}^3$ ]	0,33
<b>Dimensionamiento tanque</b>	
Diámetro [mm]	691
Altura [mm]	900
Altura + 20% [mm]	1.080
Espesor [mm]	2,28
S [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	137,9
P [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,101
P + 10% [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]	0,111
E	1

Diámetro del agitador [mm]	230
Potencia del agitador [kW]	0,00011
Diámetro deflector [mm]	57,6

### C.1.14 Secador

Tabla 39. Dimensionamiento del secador

<b>Datos de corrientes de alimentación y salida</b>	
Caudal de bioplástico [kg]	640,50
Caudal de aire saliente [kg]	418,26
Volumen de carga [ $m^3$ ]	32,29
Caudal de salida vapor de agua	929,46
<b>Dimensionamiento del secador</b>	
Volumen +15% [ $m^3$ ]	37,13
Profundidad [mm]	2310
Altura [mm]	4630
Ancho [mm]	3470
Área [ $m^2$ ]	16,1
Calor necesario [kW]	24,98

### C.1.15 Peletizadora

Tabla 40. Dimensionamiento de la peletizadora

<b>Datos de corrientes de alimentación</b>	
Caudal de bioplástico [kg]	95,79
Volumen recipiente [ $m^3$ ]	0,090
<b>Dimensionamiento</b>	
Diámetro [mm]	450
Radio [mm]	220
Altura [mm]	580
Altura + 20% [mm]	690
Área del cilindro [ $m^2$ ]	1,28
Fuerza del cilindro [N]	939,72
Presión del cilindro [ $N/m^2$ ]	731,82
Velocidad giro de rodillos [rad/s]	62,83
Velocidad lineal de rodillos [m/s]	14
Factor de fricción del Acero Inox.	0,35
Calor generado [kW]	55,22

## C.4 Equipos auxiliares

### C.1.16 Banda Transportadora 1

Tabla 41. Dimensionamiento de banda transportadora 1

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Caudal papa de desecho [kg]	785,82
<b>Dimensionamiento</b>	
Longitud de la cinta [m]	10
Ancho de la cinta [m]	0,5
Velocidad [m/s]	1,45
Ángulo de inclinación [grados]	4,6
Área de la sección transversal del material [ $m^2$ ]	0,000097
Factor de anchura de la banda [kg/s]	76
Factor de longitud de la banda [ $m^1$ ]	0,1
Factor de servicio	1,17
Potencia 1 [kW]	948,60
Potencia 2 [kW]	0,0017
Potencia 3 [kW]	0,22
Rendimiento motor eléctrico [%]	95
Rendimiento caja reductora [%]	99
Potencia motor eléctrico [kW]	0,1008

### C.1.16.1 Banda Transportadora 2

Tabla 42. Dimensionamiento de banda transportadora 2

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Transporte [kg]	768,61
<b>Dimensionamiento</b>	
Longitud de la cinta [m]	10
Ancho de la cinta [m]	0,5
Velocidad [m/s]	1,45
Ángulo de inclinación [grados]	0
Área de la sección transversal del material [ $m^2$ ]	0,000094
Factor de anchura de la banda [kg/s]	76

Factor de longitud de la banda [ $m^1$ ]	0,1
Factor de servicio	1,17
Potencia 1 [kW]	948,45
Potencia 2 [kW]	0
Potencia 3 [kW]	0,22
Rendimiento motor eléctrico [%]	95
Rendimiento caja reductora [%]	99
Potencia motor eléctrico [kW]	0,10087

### C.1.16.2 Banda Transportadora 3

Tabla 43. Dimensionamiento de banda transportadora 3

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Transporte [kg]	99,51
<b>Dimensionamiento</b>	
Longitud de la cinta [m]	10
Ancho de la cinta [m]	0,5
Velocidad [m/s]	1,45
Ángulo de inclinación [grados]	8,96
Área de la sección transversal del material [ $m^2$ ]	0,000016
Factor de anchura de la banda [kg/s]	76
Factor de longitud de la banda [ $m^1$ ]	0,1
Factor de servicio	1,17
Potencia 1 [kW]	942,73
Potencia 2 [kW]	0,00048
Potencia 3 [kW]	0,22
Rendimiento motor eléctrico [%]	95
Rendimiento caja reductora [%]	99
Potencia motor eléctrico [kW]	0,100260

### C.1.16.3 Banda Transportadora 4

Tabla 44. Dimensionamiento de banda transportadora 4

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Transporte [kg]	92,39
<b>Dimensionamiento</b>	
Longitud de la cinta [m]	10
Ancho de la cinta [m]	0,5
Velocidad [m/s]	1,45
Ángulo de inclinación [grados]	3,44
Área de la sección transversal del material [ $m^2$ ]	0,000014
Factor de anchura de la banda [kg/s]	76
Factor de longitud de la banda [ $m^1$ ]	0,1
Factor de servicio	1,17
Potencia 1 [kW]	942,67
Potencia 2 [kW]	0,00012
Potencia 3 [kW]	0,22
Rendimiento motor eléctrico [%]	95
Rendimiento caja reductora [%]	99
Potencia motor eléctrico [kW]	0,100254

### C.1.16.4 Banda Transportadora 5

Tabla 45. Dimensionamiento de banda transportadora 5

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Transporte [kg]	90,37
<b>Dimensionamiento</b>	
Longitud de la cinta [m]	10
Ancho de la cinta [m]	0,5
Velocidad [m/s]	1,45
Ángulo de inclinación [grados]	1,8
Área de la sección transversal del material [ $m^2$ ]	0,000014
Factor de anchura de la banda [kg/s]	76
Factor de longitud de la banda [ $m^1$ ]	0,1
Factor de servicio	1,17
Potencia 1 [kW]	942,65

Potencia 2 [kW]	0,00007
Potencia 3 [kW]	0,22
Rendimiento motor eléctrico [%]	95
Rendimiento caja reductora [%]	99
Potencia motor eléctrico [kW]	0,100252

### C.1.16.5 Banda Transportadora 6

Tabla 46. Dimensionamiento de banda transportadora 6

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Transporte [kg]	95,79
<b>Dimensionamiento</b>	
Longitud de la cinta [m]	10
Ancho de la cinta [m]	0,5
Velocidad [m/s]	1,45
Ángulo de inclinación [grados]	22,95
Área de la sección transversal del material [ $m^2$ ]	0,000017
Factor de anchura de la banda [kg/s]	76
Factor de longitud de la banda [ $m^1$ ]	0,1
Factor de servicio	1,17
Potencia 1 [kW]	90,22
Potencia 2 [kW]	0,00103
Potencia 3 [kW]	0,22
Rendimiento motor eléctrico [%]	95
Rendimiento caja reductora [%]	99
Potencia motor eléctrico [kW]	0,00962

### C.1.17 Tornillos sinfín 1

Tabla 47. Dimensionamiento tornillo sinfín 1

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Caudal almidón [kg]	100,33
Caudal agua [kg]	200,46
<b>Dimensionamiento</b>	
Diámetro canalón del transportador [m]	0,315
Velocidad de rotación [r/min]	80
Coefficiente de relleno	0,4



Área de relleno del transportador [m <sup>2</sup> ]	0,0312
Diámetro de hélice [m]	0,2
Paso de hélice [m]	0,1
Velocidad de desplazamiento [m/s]	0,13
Ángulo [grados]	4,01
Coefficiente de disminución	0,86
Coefficiente de resistencia	1,2
Capacidad de transporte [ton/h]	17,63
Potencia 1 [kW]	0,57
Potencia 2 [kW]	0,16
Potencia 3 [kW]	0,024
Potencia total [kW]	0,76

### C.1.17.1 Tornillos sinfín 2

Tabla 48. Dimensionamiento tornillo sinfín 2

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Caudal almidón [kg]	99,53
Caudal agua [kg]	6,29
<b>Dimensionamiento</b>	
Diámetro canalón del transportador [m]	0,315
Velocidad de rotación [r/min]	80
Coefficiente de relleno	0,4
Área de relleno del transportador [m <sup>2</sup> ]	0,0312
Diámetro de hélice [m]	0,2
Paso de hélice [m]	0,1
Velocidad de desplazamiento [m/s]	0,13
Ángulo [grados]	0,41
Coefficiente de disminución	0,36
Coefficiente de resistencia	1,2
Capacidad de transporte [ton/h]	5,96
Potencia 1 [kW]	0,19
Potencia 2 [kW]	0,16
Potencia 3 [kW]	0,0012
Potencia total [kW]	0,35

### C.1.17.2 Tornillos sinfín 3

Tabla 49. Dimensionamiento tornillo sinfín 3

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Caudal almidón [kg]	98,29
Caudal agua [kg]	6,21
<b>Dimensionamiento</b>	
Diámetro canalón del transportador [m]	0,315
Velocidad de rotación [r/min]	80
Coefficiente de relleno	0,4
Área de relleno del transportador [ $m^2$ ]	0,0312
Diámetro de hélice [m]	0,2
Paso de hélice [m]	0,1
Velocidad de desplazamiento [m/s]	0,13
Ángulo [grados]	1,37
Coefficiente de disminución	0,64
Coefficiente de resistencia	1,2
Capacidad de transporte [ton/h]	14,45
Potencia 1 [kW]	0,47
Potencia 2 [kW]	0,16
Potencia 3 [kW]	0,0094
Potencia total [kW]	0,64

### C.1.17.3 Tornillos sinfín 4

Tabla 50. Dimensionamiento tornillo sinfín 4

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Caudal almidón [kg]	97,60
Caudal agua [kg]	2,05
<b>Dimensionamiento</b>	
Diámetro canalón del transportador [m]	0,315
Velocidad de rotación [r/min]	80
Coefficiente de relleno	0,4
Área de relleno del transportador [ $m^2$ ]	0,0312
Diámetro de hélice [m]	0,2
Paso de hélice [m]	0,1
Velocidad de desplazamiento [m/s]	0,13
Ángulo [grados]	1,67
Coefficiente de disminución	0,7
Coefficiente de resistencia	1,2

Capacidad de transporte [ton/h]	15,80
Potencia 1 [kW]	0,52
Potencia 2 [kW]	0,16
Potencia 3 [kW]	0,013
Potencia total [kW]	0,69

#### C.1.17.4 Tornillos sinfín 5

Tabla 51. Dimensionamiento tornillo sinfín 5

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Caudal almidón [kg]	95,17
Caudal agua [kg]	3.735,72
<b>Dimensionamiento</b>	
Diámetro canalón del transportador [m]	0,315
Velocidad de rotación [r/min]	80
Coefficiente de relleno	0,4
Área de relleno del transportador [m <sup>2</sup> ]	0,0312
Diámetro de hélice [m]	0,2
Paso de hélice [m]	0,1
Velocidad de desplazamiento [m/s]	0,13
Ángulo [grados]	0,00
Coefficiente de disminución	1
Coefficiente de resistencia	1,2
Capacidad de transporte [ton/h]	15,71
Potencia 1 [kW]	0,51
Potencia 2 [kW]	0,16
Potencia 3 [kW]	0,0001
Potencia total [kW]	0,67

#### C.1.17.5 Tornillos sinfín 6

Tabla 52. Dimensionamiento tornillo sinfín 6

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Caudal almidón [kg]	93,98
Caudal etanol [kg]	47,06
<b>Dimensionamiento</b>	
Diámetro canalón del transportador [m]	0,315

Velocidad de rotación [r/min]	80
Coefficiente de relleno	0,4
Área de relleno del transportador [m <sup>2</sup> ]	0,0312
Diámetro de hélice [m]	0,2
Paso de hélice [m]	0,1
Velocidad de desplazamiento [m/s]	0,13
Ángulo [grados]	1,63
Coefficiente de disminución	0,97
Coefficiente de resistencia	1,2
Capacidad de transporte [ton/h]	17,07
Potencia 1 [kW]	0,56
Potencia 2 [kW]	0,16
Potencia 3 [kW]	0,046
Potencia total [kW]	0,76

#### C.1.17.6 Tornillos sinfín 7

Tabla 53. Dimensionamiento tornillo sinfín 7

<b>Datos de corriente de alimentación</b>	
Caudal bioplástico [kg]	640,50
<b>Dimensionamiento</b>	
Diámetro canalón del transportador [m]	0,315
Velocidad de rotación [r/min]	80
Coefficiente de relleno	0,4
Área de relleno del transportador [m <sup>2</sup> ]	0,0312
Diámetro de hélice [m]	0,2
Paso de hélice [m]	0,1
Velocidad de desplazamiento [m/s]	0,13
Ángulo [grados]	19,32
Coefficiente de disminución	0,61
Coefficiente de resistencia	1,2
Capacidad de transporte [ton/h]	9,70
Potencia 1 [kW]	0,32
Potencia 2 [kW]	0,16
Potencia 3 [kW]	0,088
Potencia total [kW]	0,56

## ANEXO D: COTIZACIONES DE EQUIPOS

Las cotizaciones se realizaron para los equipos que no fueron dimensionados, incluido parte del tamizador. Las cotizaciones fueron obtenidas de proveedores en Alibaba.

### D.1 Balsa de lavado



FUSHI-máquina de limpieza y pulido de frutas y verduras, línea de producción de lavado de patatas

★★★★★ 5.0 1 Reseñas 1 comprador

Para consultar por precios de productos, personalizaciones u otra información:

Contactor Proveedor

Liámanos

Hablamos ahora

Verified Supplier

Longkou Fushi Packing Machiner...  
Manufacturer, Trading Company

CN 14 YRS

≤4h Tiempo de respuesta

20,000+ Para 2 Transacciones

100.0% Tasa de entrega a tiempo

Garantía: 1 año en garantía de maquinarias

Garantía comercial Protege tus pedidos de Alibaba.com

Alibaba.com Freight Compare Rates Learn more

Pago: VISA T/T Online Transfer Apple Pay WesternUnion WU

Logística de Alibaba.com Soluciones de inspección Vista de producción

Figura 14. Detalle costo de adquisición de la balsa de lavado

Descripción general	
<b>Detalles rápidos</b>	
Condición:	Nuevo
Marca:	FUSHI
Voltaje:	380V/50HZ
Peso:	4 toneladas
Certificación:	CE ISO
Type:	Sorter
Item:	vegetable cleaning machine potato washing production line
Round fruits like:	orange, lemon, citurs, etc
Power supply:	380V
Function:	fruit Vegetable Washing
Lugar del origen:	Shandong, China
Número de Modelo:	FS 1001
Energía (W):	10KW
Dimensión (L*W*H):	20*10*2
Garantía:	1 año
After-sales Service ...	Engineers available to service machinery overseas
Round vegetables li...	onion, tomato, bell pepper.....
Layout:	20.00X1.3X1.8 m
capacity:	3-5t/h and 8t/h
Product name:	fruit washing machine

Figura 15. Descripción general de la balsa de lavado

## D.2 Molino de martillos

De patata dulce de paja de molino de martillo

1 - 4 Sets **996,00 US\$** 5 - 9 Sets **981,00 US\$** >=10 Sets **965,00 US\$**

**MARCH EXPO** Selección de March Expo 2021

\$20.00 DE DESCUENTO Ordena más de \$3,000.00 [Obtener el cupón](#)

Número de Mod...

Energía (W): \$996,00

Garantía: **12 Months** en garantía de maquinarias | **1 año** for Core Components

Muestras: 1.100,00 US\$/Set | 1 Set (Pedido mínimo) [Comprar muestras](#)

**Gold Supplier**

**Henan Strongwin Machinery Equi...**  
Manufacturer, Trading Company

**6h** Tiempo de respuesta

40,000+ Para 17 Transacciones

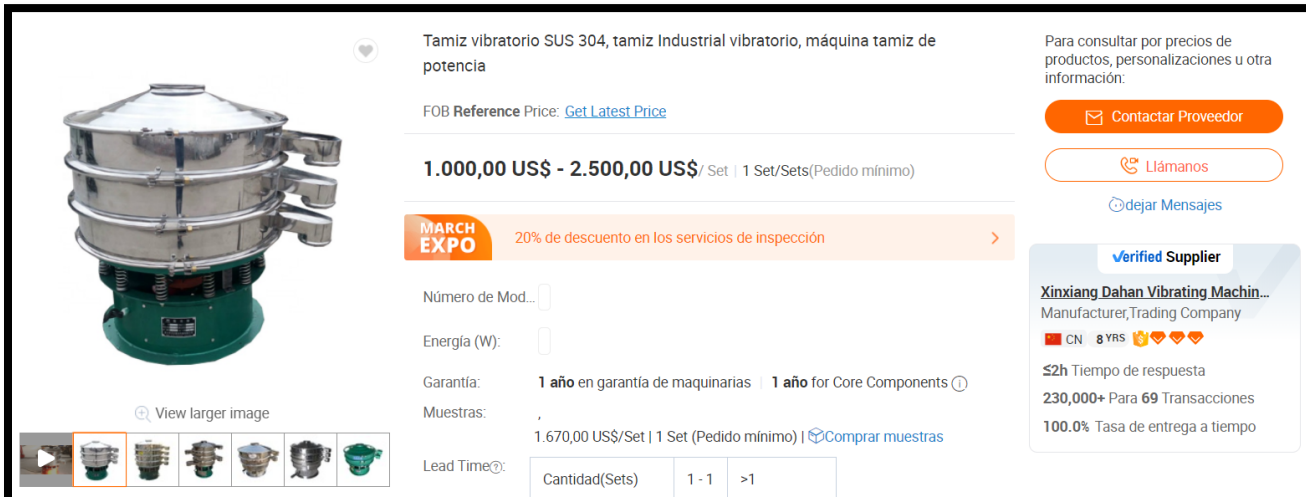
100.0% Tasa de entrega a tiempo

Figura 16. Detalle costo de adquisición del molino de martillos

Parámetros técnicos del molino de martillo de paja de batata					
Modelo	De la potencia (kw)	Velocidad del husillo	Capacidad (kg/h)	Dimensión (mm)	Peso (kg)
SW350	2,2		80-200	750*500*800	90
SW360	4	4600r/min	150-300		170/190
SW400	7,5	3200r/min	200-500	1100*900*1200	200/230
<b>SW420B-7.5</b>	<b>7,5</b>	<b>3200r/min</b>	<b>200-700</b>	<b>1200*1000*1220</b>	<b>230/260</b>
SW420B-11	11	3200r/min	300-900	1650*820*1200	290/340
SW50-28	15	3300r/min	800-1700	1800*900*1120	540
SW50-40	22	3400r/min	900-2000	2000*1100*1320	680

Figura 17. Descripción general del molino de martillos. Modelo SW420B-11

### D.3 Tamizador



Tamiz vibratorio SUS 304, tamiz Industrial vibratorio, máquina tamiz de potencia

Para consultar por precios de productos, personalizaciones u otra información:

FOB Reference Price: [Get Latest Price](#)

**1.000,00 US\$ - 2.500,00 US\$** / Set | 1 Set/Sets(Pedido mínimo)

**MARCH EXPO** 20% de descuento en los servicios de inspección

Número de Mod...

Energía (W):

Garantía: **1 año** en garantía de maquinarias | **1 año** for Core Components ⓘ

Muestras: ,  
1.670,00 US\$/Set | 1 Set (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Lead Time:  Cantidad(Sets) | 1 - 1 | >1


[Contactar Proveedor](#)

[Llámanos](#)

[Dejar Mensajes](#)

**Verified Supplier**

**Xinxiang Dahan Vibrating Machin...**  
Manufacturer, Trading Company

**CN** 8 YRS 

≤2h Tiempo de respuesta

230,000+ Para 69 Transacciones

100.0% Tasa de entrega a tiempo

Figura 18. Detalle costo de adquisición del tamizador vibratorio

Vibrante industrial tamiz de 304 de SUS vibración tamiz							
Modelo	De la potencia (kw)	Tamiz de diámetro (mm)	Capas	Granularidad (mm)	Voltaje (v)	RMP(r/min)	Capacidad (kg/h)
DH-400	0,18	350	1-4	<10	380	1440	100
DH-600	0,25	550	1-4	<10	380	1440	500
DH-800	0,55	750	1-4	<10	380	1440	800
DH-1000	0,75	920	1-4	<10	380	1440	1400
DH-1200	1,1	1120	1-4	<10	380	1440	2100
DH-1500	1,5	1420	1-4	<10	380	1440	2600
DH-1800	2,2	1720	1-4	<10	380	1440	3300

Figura 19. Descripción general del tamizador vibratorio. Modelo DH-1000

## D.4 Centrifugadora 1

Linbel-centrifugadora de extracción de aceite de cáñamo, máquina separadora Industrial, SZ-300  
1 comprador

Para consultar por precios de productos, personalizaciones u otra información:

[Contactar Proveedor](#)

[Llámanos](#)

[Hablar ahora](#)

**Verified Supplier**  
Shanghai Linbel Instrument Co., L...  
Manufacturer, Trading Company

CN 5 YRS

53h Tiempo de respuesta  
220,000+ Para 35 Transacciones  
90.0% Tasa de entrega a tiempo

1 - 9 Sets **3.399,00 US\$** 10 - 49 Sets **3.199,00 US\$** 50 - 99 Sets **2.499,00 US\$** >=100 Sets **1.999,00 US\$**

**MARCH EXPO** 20% de descuento en los servicios de inspección

**15 % DE DESCUENTO** Valor del producto mayor que \$10,000.00, limitado a... [Obtener el cupón](#)

Número de Mod...

Garantía: **1 año** en garantía de maquinarias

Muestras: 3.399,00 US\$/Set | 1 Set (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Lead Time:  Cantidad(Sets) 1 - 10 11 - 20 21 - 50 >50

Figura 20. Detalle costo de adquisición de la centrifugadora 1

Modelo	SZ-300	SZ-350	SZ-450	SZ-600	SZ-800	SZ-1000
Fuente de alimentación	220V/60HZ					
Velocidad de rotación	1200r/min			900r/min	780r/min	700r/min
Factor de separación	240w <sup>2</sup> r/g/	280w <sup>2</sup> r/g/	250w <sup>2</sup> r/g/	270w <sup>2</sup> r/g/		
Potencia del Motor	1.5KW	1.5KW	2.2KW	3KW	4KW	5.5KW
Tambor de espesor	5MM			6MM		
Grosor de la cáscara	3MM			4MM		
Capacidad (L)	19	30	60	110	200	310

Figura 21. Descripción general de la centrifugadora 1. Modelo SZ-1000



## D.5 Centrifugadora 2



**HOT**

Precio de la máquina centrífuga Industrial

>=1 Sets  
**7.000,00 US\$**

**MARCH EXPO** 20% de descuento en los servicios de inspección

Número de Mod...

Garantía: **1 año** en garantía de maquinarias | **1 año** for Core Components ⓘ

Muestras: 5.850,00 US\$/Set | 1 Set (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Lead Time: ⓘ

Cantidad(Sets)	1 - 2	>2
Hora del Est.(días)	3	Se negociará

View larger image

Para consultar por precios de productos, personalizaciones u otra información:

[Contactar Proveedor](#)

[Llámanos](#)

[Hablar ahora](#)

**Verified Supplier**

**Guangzhou Fan Bo Lun Import An...**

**CN** 4 YRS 

≤4h Tiempo de respuesta

130,000+ Para 45 Transacciones

80.0% Tasa de entrega a tiempo

Figura 22. Detalle costo de adquisición de la centrifugadora 2

Model	HH15	HH25	HH45	HH65	HH115	HH145	HH250
Diameter (mm)	300	300	450	450	600	600	800
Capacity (L)	15	25	45	65	115	145	250
Rotary Speed (rpm)	2000	2000	1500	1500	1250	1250	1100
Motor (kw)	1.1	1.5	2.2	3	4	5.5	11
Weight (kg)	200	300	650	1600	2200	3000	3200
Height (mm)	250	350	300	400	400	500	500
Power voltage	220V/60Hz Single phase / three phase			220V/60Hz Three phase			

Figura 23. Descripción general de la centrifugadora 2. Modelo HH115

## D.6 Centrifugadora 3



LAB1ST

Centrifugadora de cáñamo Industrial, máquina de extracción de aceite Cbd

1 - 2 Unidades **21.900,00 US\$** 3 - 4 Unidades **14.900,00 US\$** >=5 Unidades **12.900,00 US\$**

**MARCH EXPO** Selección de March Expo 2021

\$100.00 DE DESCUENTO Ordena más de \$5,000.00 Obtener el cupón

Número de Mod...	LXJ-450	\$21.900,00	-	0	+
	LXJ-600	\$21.900,00	-	0	+
	LXJ-800	\$21.900,00	-	0	+

All 4 Options

Garantía: 1 año en garantía de maquinarias

Gold Supplier

Labfirst Scientific Instruments (S...  
Manufacturer, Trading Company

CN 2 YRS

57h Tiempo de respuesta

390,000+ Para 12 Transacciones


100.0% Tasa de entrega a tiempo

Figura 24. Detalle costo de adquisición de la centrifugadora 3

Model	LXJ-450	LXJ-600	LXJ-800	LXJ-1000	LXJ-1200
Basket Diameter (mm)	450	600	800	1000	1200
Basket Volume (L)	60	110	180	290	530
Biomass per Batch (lbs)	15	30	50	90	150
Biomass per 8Hr Shift (lbs)	300	600	1000	1800	3000
Liquid Volume (L/Gal)	100/26	170/45	340/90	570/150	870/230
Temperature Rating (oC)	-60	-60	-60	-60	-60
Max Speed (rpm)	1900	1250	1200	1000	950
Motor Power (kW)	2	4	7.5	11	18.5
Connections	Lid: 3 x 1.5" Tri-Clamp Ports, 2 x Sight Glasses Discharge: 1 x 2" Tri-Clamp Port				
Weight (kg)	400	810	1700	2500	3300
Centrifuge Dimension (LxWxH mm)	1000x750x800	1300x900x1010	1750x1250x1080	2000x1450x1140	2300x1600x1470
Control Cabinet Dimension (LxWxH mm)	500x400x1200	500x400x1200	500x400x1200	500x400x1200	500x400x1200
Control	PLC Touch Screen				
Certification	GMP Standard, UL Optional				
Electricity	240V, 3 Phase, 60Hz or Customizable				

Figura 25. Descripción general de la centrifugadora 3. Modelo LXJ1200

## D.7 Tritrador



Máquina trituradora de ajos y jengibre para QC-607, Ralladora de yuca, máquina trituradora de patatas

1 - 5 Sets	6 - 9 Sets	>=10 Sets
3.000,00 US\$	2.900,00 US\$	2.800,00 US\$

**MARCH EXPO** 20% de descuento en los servicios de inspección

Número de Mod...

Garantía: **1 año** en garantía de maquinarias | **1 año** for Core Components

Muestras: 2.200,00 US\$/Set | 1 Set (Pedido mínimo) | [Comprar muestras](#)

Personalización: Logotipo personalizado (Min. Order: 1 Sets)  
Embalaje personalizado (Min. Order: 1 Sets)  
More

**Garantía comercial** Protege tus pedidos de Alibaba.com

**Alibaba.com Freight** | [Compare Rates](#) | [Learn more](#)

Pago: **VISA** | **T/T** | Online Transfer | **Pay** | WesternUnion | **WU** | **Alipay**

Logística de Alibaba.com | Soluciones de inspección | Vista de producción

Para consultar por precios de productos, personalizaciones u otra información:

[Contactar Proveedor](#)

[Liámanos](#)

[Dejar Mensajes](#)

**Verified Supplier**

**Foshan Wanlong Machinery Co., L...**

**CN** 5 YRS

≤6h Tiempo de respuesta

50,000+ Para 6 Transacciones

33.3% Tasa de entrega a tiempo

Figura 26. Detalle costo de adquisición trituradora

Los parámetros De Ajo helicóptero	
Nombre	Automática Industrial de ñame de pimienta de maceración de rejilla de máquina
Modelo	QC-607
Material	304SUS
Dimensión	900*380*1000mm
Tensión de	220V/380V
Poder	1.5KW
La productividad	500 kg/h
Aplicación	Jengibre ajo pimienta maní, etc.
Característica	1) La de tamaño se puede ajustar por cambiar la cantidad de cuchilla 2) de alta eficiencia y amplia aplicación 3) Simply estructura operación fácil 4) La resistencia a la corrosión a más vida de servicio
Personalizado	Hoja de cantidad es personalizado
Condiciones de pago	TT LC MoneyGram
Paquete	Por estándar de la exportación caja de madera contrachapada
El tiempo de entrega	5-8 días hábiles después del pago
Transporte	DHL TNT UPS FedEx Express o personalizado
Garantía	1 año
MOQ	1 Set

Figura 27. Descripción general de la trituradora. Modelo QC-607

## D.8 Bomba Centrífuga



Bomba centrífuga de motor multietapa ISW/ISG para sistema de aspersor

Productos en rebajas imperdibles

10 compradores

1 - 9 Unidades	>=10 Unidades
98,00 US\$	78,40 US\$

**MARCH EXPO** Selección de March Expo 2021

Tipo: Bombas centrífugas

Máximo de la ca...

Flujo máximo:

Muestras: Bombas centrífugas ,

Para consultar por precios de productos, personalizaciones u otra información:

Contactar Proveedor

Llámanos

Dejar Mensajes

**Verified Supplier**

**Taizhou Hangge Pump Co., Ltd.**  
Trading Company

CN 3 YRS

≤3h Tiempo de respuesta

50,000+ Para 79 Transacciones

100.0% Tasa de entrega a tiempo

Figura 28. Detalle costo de adquisición bomba centrífuga

## ANEXO E: CALCULOS ECONÓMICOS

### E.1 Estimación de costos teóricos

La estimación teórica de costos se realizó según la metodología ubicada en la sección 8.4. En el caso de la balsa de lavado y la peletizadora al no haber un parámetro que defina este equipo en el libro Sinnott, se utilizó los costos de mercado. En el caso del tanque de mezclado (T-01) y en el tanque de esterilización (T-02) no se pudo aplicar la metodología de Sinnott en cuanto a la masa del tanque, al no encontrarse dentro de los límites establecidos. Por lo tanto, se calculó el costo en función del material a ocupar y se estimó el doble, tomando en cuenta la manufactura. Para el tanque de mezclado, el agitador si se calculó en base a la metodología de dimensionamiento de tanques.

Tabla 54. Estimación de costos teóricos de los equipos del proceso

<b>Equipos</b>	<b>Costo estimado teórico USD \$</b>
Balsa de Lavado	8.000
Molino de martillos	13.932,66
Triturador	6.748,74
Tamiz vibratorio	122.578,98
Centrifugadoras	166.406,33
Tanque de mezclado T-01	891,14
Tanque de esterilización T-02	894,68
Tanque de precipitación T-03	17.048,16
Tanque de mezclado T-04	5.443,89
Tanque de mezclado T-05	1.367,07
Reactor	54.404,36
Secador	45.502,41
Peletizadora	22.500
Bomba B-01	4.735,02
Bomba B-02	4.256,86
Bandas transportadoras	146.400
Tornillos sinfín	170.800

## E.2 Estimación de costos según el método de HAND

Tabla 55. Estimación de costos según HAND

<b>Equipos</b>	<b>Costo estimado teórico USD \$</b>	<b>Factor de material SS304</b>	<b>Factor de instalación HAND</b>	<b>Costo HAND</b>
Balsa de Lavado	8.000	1,3	2,5	26.000
Molino de martillos	13.932,66	1,3	2,5	45.281,14
Triturador	6.748,74	1,3	2,5	21.993,40
Tamiz vibratorio	122.578,98	1,3	2,5	398.381,70
Centrifugadoras	166.406,33	1,3	2,5	540.820,57
Tanque de mezclado T-01	891,14	1,3	4	4.633,90
Tanque de esterilización T-02	894,68	1,3	4	4.652,34
Tanque de precipitación T-03	17.048,16	1,3	4	88.650,45
Tanque de mezclado T-04	5.443,89	1,3	4	28.308,25

Tanque de mezclado T-05	1.367,07	1,3	4	7.108,77
Reactor	54.404,36	1,3	4	282.902,68
Secador	45.502,41	1,3	2,5	147.882,82
Peletizadora	2.2500	1,3	2,5	73.125,00
Bomba B-01	4.735,02	1,3	4	24.622,10
Bomba B-02	4.256,86	1,3	4	22.135,69
Bandas transportadoras	146.400	1,3	2,5	475.800
Tornillos sinfín	170.800	1,3	2,5	555.100

### E.3 Estimación de costos según el método factorial detallado

Tabla 56. Estimación de costos según MFD

Equipos	Costo estimado teórico USD \$	Factor de material SS304	Fp	Fer	Fel	Fi	Fc	Fs	FI	MTD
Balsa de Lavado	8.000	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	29.440
Molino de martillos	13.932,66	1,3	0,2	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	39.847,40
Triturador	6.748,74	1,3	0,2	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	19.301,39
Tamiz vibratorio	122.578,98	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	451.090,66
Centrifugadoras	166.406,33	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	612.375,29
Tanque de mezclado T-01	891,14	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	3.279,38
Tanque de esterilización T-02	894,68	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	3.292,43
Tanque de precipitación T-03	17.048,16	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	62.737,24
Tanque de mezclado T-04	5.443,89	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	20.033,53
Tanque de mezclado T-05	1.367,07	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	5.030,82
Reactor	54.404,36	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	200.208,05
Secador	45.502,41	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	167.448,86
Peletizadora	2.2500	1,3	0,2	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	64.350,00
Bomba B-01	4.735,02	1,3	0,8	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	17.708,97

Bomba B-02	4.256,86	1,3	0,8	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	15.920,67
Bandas transportadoras	146.400	1,3	0,2	0,6	0,15	0,2	0,2	0,1	0,05	418.704
Tornillos sinfín	170.800	1,3	0,6	0,5	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	628.544

#### E.4 Capital de trabajo

Tabla 57. Indicadores que conforman el capital de trabajo

<b>Indicadores</b>	<b>Valor USD \$</b>
Inventario MP. 2 semanas	13.206,85
Inventario productos 2 semanas	169.245,94
Efectivo en caja	6.515,40
Cuentas por cobrar	26.413,70
Créditos de cuentas pendientes	26.413,70
Inventario de repuestos	57.782,12
<b>TOTAL</b>	<b>299.577,72</b>

#### E.5 Costos variables de producción

Tabla 58. Indicadores que conforman los costos variables de producción

<b>Indicadores</b>	<b>Valor USD \$</b>
M.P al mes	26.413,70
Electricidad. Mes	1.110,60
Agua potable. Mes	275,57
<b>TOTAL</b>	<b>27.799,88</b>

## E.6 Costos fijos de producción

Tabla 59. Indicadores que conforman los costos fijos de producción

<b>Indicadores</b>	<b>Valor USD \$</b>
Labor de operación	8.400
Supervisión	2.100
Gastos salariales directos	4.200
Mantenimiento	110.061,19
Impuestos	27.515,30
Alquiler terreno	38.521,42
Gastos generales	81.094,77
Gastos ambientales	38.521,42
Costo licencia funcionamiento	277,92
<b>TOTAL</b>	<b>310.692,00</b>

## E.7 Ingresos de la planta

Tabla 60. Indicadores que conforman los ingresos de la planta

<b>Indicadores</b>	<b>Valor USD \$</b>
Ventas anuales	1.824.955,24
Margen Bruto	1.507.582,585
Costo en efectivo de producción CCOP	338.491,88
Beneficio bruto	1.486.463,36
Beneficio neto	1.261.137,96
Depreciación Lineal	462.256,98
Ingreso imponible	1.024.206,38
Impuestos	225.325,40
Inversión inicial total	4.922.147,56



## E.8 Flujo de caja

Tabla 61. Flujo de caja de la planta

Año	Ingreso Bruto	Depreciación	Ingreso Imponible	Impuesto	Flujo de caja	Flujo Acumulado	Saldo
			Bene. Neto - depreciación	12%	Bene. Neto - Impuestos		Flujo Acumulado - Capital Fijo
0					- 4.622.569,83	-4.622.569,83	-4.922.147,56
1	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38		1.486.463,36	1.486.463,36	-3.435.684,20
2	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	2.747.601,32	-2.174.546,24
3	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	4.008.739,27	-913.408,29
4	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	5.269.877,23	347.729,67
5	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	6.531.015,19	1.608.867,63
6	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	7.792.153,14	2.870.005,58
7	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	9.053.291,10	4.131.143,54
8	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	10.314.429,06	5.392.281,50
9	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	11.575.567,01	6.653.419,45
10	1.486.463,36	462.256,98	1.024.206,38	225.325,40	1.261.137,96	12.836.704,97	7.914.557,41