

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Estudio de prefactibilidad de una Planta Piloto de Bioprocesos
para la Producción de Biopolímeros a partir de Biomasa**

Gisella Beatriz Moreano Gualpa
Ingeniería Química

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
INGENIERA QUÍMICA

Quito, 10 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Estudio de prefactibilidad de una Planta Piloto para la Producción de
Biopolímeros a partir de Biomasa**

Gisella Beatriz Moreano Gualpa

Nombre del profesor, Título académico

José F. Álvarez B., PhD

Quito, 10 de mayo de 2025

© 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: Gisella Beatriz Moreano Gualpa

Código: 00213522

Cédula de identidad: 1750378364

Lugar y fecha: Quito, 10 de mayo 2025

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UNPUBLISHED DOCUMENT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

La producción de biopolímeros representa una alternativa sustentable frente a los plásticos convencionales derivados del petróleo. Este proyecto tiene como objetivo diseñar un proceso escalable para producir ácido poli- γ -glutámico (PGA). La metodología incluye la selección de una biomasa representativa y desarrollo de las etapas de producción, tales como el pretratamiento químico, la fermentación con *Bacillus subtilis* y la purificación del producto final. Esta fase piloto evalúa la viabilidad técnica y económica del proceso a pequeña escala, considerando su potencial de escalabilidad y sostenibilidad en futuras fases industriales. Los estudios realizados previamente indican que la mazorca de maíz, abundante en Ecuador, es una fuente efectiva y económica de biomasa para la producción de PGA. Se estima que la planta piloto podrá generar hasta 5 toneladas de PGA anualmente, produciendo 54 kg por ciclo en 93 ciclos al año. Los equipos necesarios para cada etapa del proceso han sido adecuadamente dimensionados, garantizando su capacidad y eficiencia operativa. El análisis económico revela un TIR del 45% y un VAN de \$415,294.82, confirmando la rentabilidad del proyecto. La recuperación de la inversión está estimada en 2 años, lo que respalda la viabilidad financiera y el potencial del proyecto para impulsar significativamente la industria de biopolímeros en Ecuador.

Palabras clave: Biopolímeros, ácido poli- γ -glutámico, biomasa lignocelulósica, planta piloto, Ecuador, sostenibilidad.

ABSTRACT

Biopolymer production represents a sustainable alternative to conventional petroleum-derived plastics. This project aims to design a scalable process to produce poly-glutamic acid (PGA). The methodology includes the selection of representative biomass and the development of production stages, such as chemical pretreatment, fermentation with *Bacillus subtilis*, and final product purification. This pilot phase assesses the technical and economic feasibility of the process at a small scale, considering its scalability and sustainability in future industrial phases. Previous studies indicate that corn cobs, abundant in Ecuador, are an effective and cost-efficient biomass source for PGA production. It is estimated that the pilot plant will generate up to 5 tons of PGA annually, producing 54 kg per cycle in 93 cycles per year. The necessary equipment for each stage of the process has been appropriately sized, ensuring its capacity and operational efficiency. The economic analysis reveals an IRR of 45% and a NPV of \$415,294.82, confirming the project's profitability. The investment payback is estimated at 2 years, supporting the financial viability and the project's potential to significantly boost the biopolymer industry in Ecuador.

Keywords: Biopolymers, poly- γ -glutamic acid, lignocellulosic biomass, pilot plant, Ecuador, sustainability.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	12
1.1	Antecedentes.....	12
1.1.1	Plásticos.	12
1.1.2	Biopolímeros.....	12
1.1.3	Biomasa.	13
1.1.4	Plantas piloto.....	14
1.2	Presentación del proyecto	15
1.2.1	Objetivos del proyecto.	15
1.2.2	Justificación e Impactos.	15
1.2.3	Resultados esperados.	17
2.	BASES DE DISEÑO	18
2.1	Selección del proceso	18
2.1.1	Selección de la biomasa para la producción de bioplásticos.	18
2.1.2	Diversidad de biopolímeros y sus bioprocesos.	19
2.1.3	Análisis semicuantitativo para evaluación de escalabilidad.	19
2.2	Descripción del producto	19
2.3	Descripción de materias primas	21
2.3.1	Maíz.	21
2.3.2	Materias primas para el pretratamiento e hidrólisis de la biomasa lignocelulósica.	21
2.3.3	Materias primas para el medio de inóculo, fermentación y purificación del PGA.	22
2.4	Proceso de producción PGA	23
2.4.1	Pretratamiento biomasa lignocelulósica.....	24
2.4.2	Eliminación de inhibidores.....	24
2.4.3	Hidrólisis enzimática.	25

2.4.4 Fermentación y purificación de PGA.....	26
2.5.1 Normas y legislaciones.....	28
2.5.2 Marco Legal.....	28
2.6 Ubicación.....	29
2.7 Terminología especializada.....	29
3. DISEÑO DEL PROCESO.....	31
3.1 Determinación del caudal de producción de PGA.....	31
3.1.1 Cálculo de las tusas producidas en total.....	31
3.1.2 Cálculo del γ -PGA.....	32
3.1.3 Modo de operación.....	32
3.2 Balance de masa.....	34
3.3 Balance de energía.....	35
4. DISEÑO DE LA PLANTA.....	37
4.1 Selección de equipos.....	37
4.1.1 Selección de equipos pretratamiento materia prima.....	37
4.1.2 Reactores para el proceso de fermentación.....	37
4.1.3 Sistemas para la purificación de PGA.....	38
4.1.4 Otros equipos en la operación.....	38
4.2 Diseño y dimensionamiento de equipos.....	38
5. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	41
5.1 Estimación de costos.....	41
5.2 Estimación de ingresos en la planta.....	42
5.3 Evaluación económica del proyecto.....	43
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
7. REFERENCIAS.....	47
8. ANEXOS.....	58
ANEXO A: INTRODUCCIÓN.....	58

ANEXO B: METODOLOGÍAS	64
8.2.3 Objetivo específico 3: Realizar un análisis económico y de flexibilidad integral para evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.	79
ANEXO C: MARCO LEGAL	83
ANEXO D: CÁLCULOS Y RESULTADOS	85
ANEXO E: COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS.....	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Simbología de equipos del diagrama de flujo.....	33
Tabla 3 Resumen balance de energía para un ciclo de producción.....	35
Tabla 4 Balance de energía del proceso de obtención de γ -PGA.	36
Tabla 5 Dimensiones de cada equipo usados en el proceso de obtención de γ -PGA.....	39
Tabla 6 Dimensiones de cada equipo usados en el proceso de obtención de γ -PGA.....	42
Tabla 7 Descripción de empleados en la planta piloto.	42
Tabla 8 Resumen de ingresos en la planta piloto.	43
Tabla 9 Recuperación de la inversión.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de γ -PGA. Las unidades de ácido D- y L-glutámico se unen mediante enlaces amida entre los grupos α -amino y γ -carboxílico.....	20
Figura 2 Diagrama de bloques producción de PGA con DES	27
Figura 3 Diagrama PFD de la producción de PGA	33
Figura 4 Gráfica flujo de caja, tiempo de recuperación de la inversión.	44

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

1.1.1 Plásticos.

Los plásticos son materiales versátiles y económicos ampliamente utilizados en diversas aplicaciones; sin embargo, su gestión al final de su vida útil plantea problemas de sostenibilidad y riesgos ambientales, ya que, de no cambiar las prácticas actuales, se estima que para 2050 los océanos contendrán más plástico que peces, y la industria plástica consumirá una parte significativa del petróleo y del presupuesto de carbono global [1]; además, la degradación de los plásticos en micro y nanopartículas supone un riesgo para la salud de animales y humanos al ingresar en la cadena alimentaria [2]. En 2022, la producción global de plásticos llegó a 400,3 millones de toneladas, con un leve incremento respecto al año anterior, destacándose el significativo aumento de los plásticos circulares, cuya producción creció 16 veces más rápido que la de plásticos derivados de combustibles fósiles y que ahora representan cerca del 10% del total producido mundialmente; se anticipa que esta tendencia de crecimiento de plásticos sostenibles, mayormente basados en biopolímeros, se acelere aún más en el futuro cercano [3] [4].

1.1.2 Biopolímeros.

Se puede definir a un biopolímero o bioplástico a un compuesto polimérico si su procedencia es biológica o si se fabrica a partir de recursos renovables que tienen la capacidad de biodegradarse. Los biopolímeros representan una categoría particular de polímeros derivados de fuentes biológicas, considerados como alternativas sostenibles tanto desde el punto de vista ambiental como económico para sustituir los plásticos tradicionales de origen petroquímico

[5] .En este contexto, el desarrollo de biopolímeros como alternativas biodegradables a los plásticos convencionales ha cobrado una gran relevancia. Estos biopolímeros, compuestos por cadenas de moléculas obtenidas de fuentes naturales, destacan por ser biodegradables, biocompatibles y no tóxicos. Recientemente, los biopolímeros ecológicos, como las sustancias poliméricas extracelulares (EPS), han despertado considerable interés gracias a sus diversas aplicaciones en campos como la emulsificación, la floculación, los conservantes, el tratamiento de aguas residuales, la funcionalización de nanomateriales, la administración de medicamentos, la cosmética, la química medicinal y la tecnología de purificación [6]. En la Tabla A-1, se presentan las diferencias entre los plásticos convencionales y los bioplásticos.

1.1.3 Biomasa.

La biomasa se ha posicionado como una materia prima renovable fundamental para la producción de diversos materiales, alineándose con los principios de sostenibilidad y economía circular que demanda el contexto actual [7].

En este contexto, los avances en procesos biotecnológicos han sido fundamentales para lograr la conversión eficiente de biomasa en diversos biopolímeros, incluyendo el ácido poliláctico (PLA), el ácido poliglutámico (PGA), los polihidroxialcanoatos (PHA) y los almidones termoplásticos [8]. Si bien numerosos estudios de laboratorio han demostrado la viabilidad técnica de estos procesos[9][10], el escalamiento hacia la producción industrial presenta desafíos significativos que requieren una fase intermedia crucial: la implementación de plantas piloto como paso previo a la industrialización.

1.1.3.1 Biomasa lignocelulósica.

El material lignocelulósico está constituido por tres polímeros principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa, formada por unidades de D-glucosa unidas por enlaces β 1-4, se organiza en estructuras cristalinas que se agrupan en fibrillas, las cuales están débilmente unidas entre sí por puentes de hidrógeno. La hemicelulosa, por su parte, presenta una estructura más compleja, compuesta por diversos carbohidratos que incluyen pentosas, hexosas y ácidos azucarados, siendo el xilano el componente predominante en la madera y plantas agrícolas [11].

1.1.4 Plantas piloto.

Las plantas piloto desempeñan un rol fundamental en la ingeniería química, especialmente en el desarrollo de nuevos procesos y tecnologías. Estas instalaciones a pequeña escala permiten simular las condiciones de operación de una planta industrial, lo que posibilita la investigación y optimización de los procesos antes de escalarlos a nivel industrial [12]. En el contexto de la producción de biopolímeros a partir de biomasa, una planta piloto ofrece la oportunidad de evaluar la eficiencia y sostenibilidad de los procesos, el manejo de los residuos.

El diseño y operación de plantas piloto para la producción de biopolímeros es un paso crucial que permite abordar desafíos técnicos y operativos en un entorno más cercano al industrial antes de la implementación a gran escala. Este proceso intermedio no solo optimiza la producción y ajusta parámetros, sino que también ofrece una perspectiva más amplia y confiable sobre la viabilidad económica y ambiental del proyecto, incluyendo una mejor comprensión de los balances de masa y energía en comparación con los experimentos de laboratorio [13]. La investigación en estas plantas piloto busca mejorar la eficiencia y calidad

de los biopolímeros, al tiempo que evalúa su viabilidad económica y establece las bases para una futura producción industrial que sea tanto rentable como sostenible, superando así las limitaciones de los estudios a pequeña escala.

1.2 Presentación del proyecto

1.2.1 Objetivos del proyecto.

El objetivo general de este proyecto es:

Diseñar una planta piloto para la producción de biopolímeros a partir de biomasa a escala piloto.

Para cumplir con el objetivo general, se ha planteados 3 objetivos específicos

1. Diseñar un proceso para la obtención de biopolímeros a partir de biomasa, que sea escalable a nivel industrial considerando la disponibilidad de materia prima local, la demanda potencial.
2. Desarrollar el diseño preliminar de la planta piloto, incluyendo la selección y dimensionamiento de equipos clave.
3. Realizar un análisis económico y de flexibilidad para evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

1.2.2 Justificación e Impactos.

Desde una perspectiva ambiental, el desarrollo de una planta piloto para la producción de biopolímeros a partir de biomasa representa un paso significativo hacia la reducción de la dependencia de plásticos derivados del petróleo. Este enfoque promete disminuir la contaminación por plásticos no biodegradables, un problema global que afecta a

ecosistemas terrestres y marinos por igual [14]. Al utilizar recursos renovables en lugar de fósiles, se contribuye a la mitigación del cambio climático, potencialmente reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del ciclo de vida del producto [15]. La implementación de esta tecnología a escala piloto permitirá evaluar y optimizar estos beneficios ambientales antes de su escalado industrial.

Por otro lado, Ecuador, siendo un país con una fuerte tradición agrícola, posee un gran potencial para la producción de materiales bio-basados gracias a sus abundantes fuentes de biomasa lignocelulósica, que incluyen residuos agrarios y agroindustriales [16]. En particular, los residuos de maíz, conocidos como rastrojo, se presentan como una materia prima prometedora debido a su disponibilidad.

Es importante mencionar que en Ecuador existe legislación que regula el uso del plástico, como la "Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de Un Solo Uso", publicada en diciembre de 2020. Esta ley fomenta el reemplazo de plásticos de un solo uso por productos biodegradables y prioriza la investigación en alternativas al uso de plásticos, incluyendo la producción de bioplásticos [17]. Este marco legal favorece significativamente el desarrollo de proyectos como el propuesto en esta investigación.

En el ámbito económico, el proyecto sienta las bases para la creación de una nueva cadena de valor en la industria de biopolímeros. Esto no solo diversifica la economía, sino que también ofrece oportunidades para el desarrollo de una industria local basada en recursos de biomasa, fomentando la economía circular [18]. La implementación de este proyecto beneficiaría económicamente a los productores de maíz, ya que se comprará el rastrojo como materia prima, agregando valor a sus residuos agrícolas postcosecha.

En términos de seguridad, la transición hacia la producción de biopolímeros a partir de biomasa ofrece la oportunidad de desarrollar procesos más seguros en comparación con la fabricación de plásticos convencionales. La utilización de materias primas renovables y procesos biotecnológicos generalmente implica menos riesgos asociados con sustancias tóxicas o inflamables. Además, al contribuir a la reducción de plásticos en el medio ambiente, el proyecto ayuda a mitigar los riesgos para la seguridad alimentaria relacionados con la contaminación por micro plásticos en la cadena alimentaria [19].

Finalmente, desde una perspectiva ética, este proyecto se alinea con los principios de responsabilidad ambiental y sostenibilidad. Contribuye directamente a la solución de problemas ambientales globales, promoviendo prácticas industriales más sostenibles y responsables [20]. Al trabajar en tecnologías que reducen la huella ecológica de los materiales plásticos, se fomenta la equidad intergeneracional, preservando recursos y un ambiente más limpio para las generaciones futuras [21].

1.2.3 Resultados esperados.

La implementación de una planta piloto para obtener bioplásticos a partir de biomasa en Ecuador promete resultados significativos para el país. Se espera aprovechar la abundante biomasa agrícola ecuatoriana, particularmente los residuos de cultivos, reduciendo así los desechos agrícolas y creando una cadena de valor sostenible. Se prevé que la planta piloto genere nuevas oportunidades de empleo en zonas agrícolas, fortaleciendo la economía rural y promoviendo la diversificación de la industria ecuatoriana, además de reducir en al menos un 0.049 % las importaciones de desechos plásticos en el Ecuador.

2. BASES DE DISEÑO

2.1 Selección del proceso

2.1.1 Selección de la biomasa para la producción de bioplásticos.

Se realizó la selección de la fuente orgánica más apropiada para fabricar el bioplástico, evaluando criterios como su abundancia y potencial económico, de esta manera considerando la producción nacional de maíz en 2023, que fue de 1.4 millones de toneladas como se muestra en la Figura A-2 [22], y considerando que según Martillo [23] se genera 0.186 ton tusa/ton maíz seco cosechado se estima que Ecuador genera aproximadamente 0.260 millones de toneladas de tusa de maíz al año[22]. Sin embargo, a pesar de esta gran cantidad, su aprovechamiento ha sido mínimo, limitándose principalmente a la alimentación de ganado o a su quema a cielo abierto [24]. La incineración del rastrojo no solo representa un desperdicio de recursos, sino que también genera problemas ambientales significativos. La combustión produce contaminantes peligrosos y gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático[25].

El proyecto se centra en la utilización de la mazorca de maíz como materia prima para la producción de ácido poliglutámico (PGA), basándose en resultados prometedores de investigaciones previas. Específicamente, se ha demostrado que el hidrolizado de las fibras de la mazorca de maíz, un sustrato de carbono alternativo rico en diversos azúcares es eficaz para la producción de PGA. Un estudio realizado por F. Zhu reveló que el uso de este hidrolizado resultó en una alta concentración de γ -PGA de 24.92 g L⁻¹ [26].

Entre las regiones productoras, destaca la provincia de Manabí como la principal zona dedicada a este grano, contribuyendo con el 34.5 % de la producción del país, mientras que

Los ríos ocupa el segundo lugar, aportando el 34.2 % del total nacional como se muestra en la Figura A-3 [22].

2.1.2 Diversidad de biopolímeros y sus bioprocesos.

Se realizó un análisis detallado de la literatura científica existente sobre metodologías experimentales que emplean biomasa y otros insumos en la síntesis de distintas clases de bioplásticos Tabla A-2, con el objetivo de comprender las rutas de producción específicas de cada biopolímero.

2.1.3 Análisis semicuantitativo para evaluación de escalabilidad.

Se realizó una matriz comparativa en la cual se presenta un análisis semicuantitativo de diversos biopolímeros para evaluar su idoneidad en la producción a escala de planta piloto. El estudio compara seis tipos de biopolímeros: PHA, Levan, PGA, Pullulan, PLA y Celulosa Bacteriana. Ver Tabla A-3.

Basándose en el análisis semicuantitativo realizado mediante la matriz de decisiones, se seleccionó del proceso más idóneo para la producción de bioplásticos y se escogió el PGA como ejemplo de escalabilidad en la planta piloto.

2.2 Descripción del producto

El ácido poliglutámico (γ -PGA) es un biopolímero natural compuesto por unidades repetitivas de ácido glutámico, ya sea en su forma L, D o una combinación de ambas. Este compuesto ha ganado atención por su potencial como producto químico de base biológica, gracias a la capacidad de ciertas bacterias para sintetizarlo eficientemente a partir de recursos renovables. Sus características

biodegradables, no tóxicas y no inmunogénicas lo han convertido en un material valioso para diversas aplicaciones en los sectores alimentario, médico y de tratamiento de aguas residuales [21]. Para este proyecto se obtendrá γ -PGA al 94,8 % un polvo de color amarillo que será empacado en bolsa de 1kg.

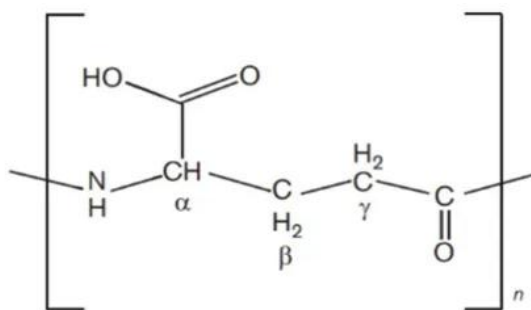


Figura 1 Estructura de γ -PGA. Las unidades de ácido D- y L-glutámico se unen mediante enlaces amida entre los grupos α -amino y γ -carboxílico.

Existen cuatro métodos principales para la producción de ácido poliglutámico: síntesis química, síntesis de péptidos, biotransformación y fermentación microbiana. Entre estos, la fermentación microbiana se destaca como el método más rentable y ventajoso [27]. Sus beneficios incluyen el uso de materias primas económicas, una reducida contaminación ambiental, alta pureza del producto final y condiciones de reacción moderadas.

El ácido γ -poliglutámico (γ -PGA) tiene aplicaciones en diversas áreas debido a su biocompatibilidad, biodegradabilidad y propiedades únicas, como se indica en la Tabla A-3 En el sector médico, se utiliza como bioadhesivo, portador de fármacos y en ingeniería de tejidos, destacándose su uso en nanopartículas para administración de [28]. En el cuidado personal, el γ -PGA se emplea como humectante en cremas y productos para la piel por su capacidad de retener

agua [29]. En la industria alimentaria, mejora la absorción de minerales, reduce la absorción de aceite en frituras y estabiliza emulsiones [30]. Además, el γ -PGA es útil en biorremediación por su capacidad de adsorber metales pesados y como biofloculante en tratamiento de aguas [31].

2.3 Descripción de materias primas

2.3.1 Maíz.

El maíz (*Zea Mays L*), perteneciente a la familia de las gramíneas Poaceae, ha emergido como el cereal de mayor producción global, superando al arroz y al trigo hace aproximadamente una década. Este ascenso se debe al desarrollo de variedades de alto rendimiento, tanto convencionales como modificadas genéticamente, y su adaptabilidad a diversos entornos ecológicos [38]. Además, sirve como materia prima en la elaboración de numerosos productos industriales y en la producción de biocombustibles. La mazorca de maíz se compone de 21.80 % de lignina, 28.90 % de hemicelulosa y 43.90% de celulosa [39]. Para la obtención de ácido poliglutámico se requiere únicamente de la celulosa y el resto será eliminado en el pretratamiento.

2.3.2 Materias primas para el pretratamiento e hidrólisis de la biomasa lignocelulósica.

En el proceso de pretratamiento de la mazorca de maíz, pretratamiento de mazorca de maíz se usará solventes eutécticos profundos (DES), siendo el sistema más eficiente el conformado por Cloruro de Colina e Imidazol en proporción molar 3:7, ambos en estado sólido cristalino a temperatura ambiente, que al mezclarse y calentarse a aproximadamente 80 °C formarán un líquido eutéctico homogéneo [40]. La biomasa, inicialmente como sólido seco (con una humedad aproximada del 8%), se molerá hasta obtener un tamaño de partícula de 0.6–0.76 cm y se mezclará con el DES en una proporción en masa de 1:16. El

pretratamiento se llevará a cabo a 80 °C durante 15 horas, generando una mezcla que posteriormente se someterá a una separación sólido-líquido, obteniéndose una fase líquida (compuesta por DES, lignina y hemicelulosa solubilizada) y una fase sólida húmeda enriquecida en celulosa. Esta fracción sólida será lavada con etanol absoluto (99.5%), pues es más eficaz que el agua para eliminar residuos del DES. El etanol se separará mediante centrifugación, permitiendo obtener un sólido húmedo limpio, con alta accesibilidad enzimática[40].

A continuación, se llevará a cabo la hidrólisis enzimática utilizando el preparado comercial Cellic CTec2, una enzima líquida (celulasa y Hemicelulasa) con actividad de 166 FPU/mL. Esta etapa se realizará a 50 °C, pH 4.8 y durante 72 horas, con una carga sólida del 6%, en condiciones estériles. Bajo estas condiciones, se espera lograr una conversión del 85.5% del glucano a glucosa y un rendimiento total de azúcares fermentables del 76% respecto al contenido inicial de carbohidratos (41.3 g/100 g de biomasa)[40]. Además, se prevé que las concentraciones de inhibidores (HMF, furfural, ácidos) se mantendrán por debajo de 0.2 g/100 g, eliminando la necesidad de una etapa adicional de detoxificación [41]. De este modo, el proceso permitirá obtener una biomasa sólida pretratada, húmeda, libre de DES, rica en celulosa y altamente susceptible a la acción enzimática para la posterior producción de compuestos fermentables.

2.3.3 Materias primas para el medio de inóculo, fermentación y purificación del PGA.

El proceso de producción y purificación de PGA comenzará con un medio de inóculo compuesto por glucosa, extracto de levadura, L-glutamato, KH_2PO_4 y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, con un pH ajustado a 6.5, cultivado durante 12 horas en agitación [42]. Para la fermentación, se utilizará un medio enriquecido con azúcares fermentables obtenidos de la biomasa

lignocelulósica, extracto de levadura, KH_2PO_4 y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, L-glutamato y antiespumante, con aireación controlada y agitación creciente hasta 400 rpm [42]. La purificación del PGA se iniciará con la acidificación del caldo (pH 3.0) mediante HCl, seguido de filtración utilizando perlita como agente filtrante para eliminar bacterias. La ultrafiltración cíclica se realizará con membranas de fibra hueca (300 kDa) para concentrar y limpiar el PGA [42]. Finalmente, el secado por congelación asegura la máxima integridad y recuperación del biopolímero, mientras que el secado por pulverización se evaluó como alternativa, aunque afecta negativamente la estructura molecular del PGA debido a las altas temperaturas.

2.4 Proceso de producción PGA

El proceso de producción de γ -PGA en este proyecto se estructura en cuatro etapas: preparación de la materia prima, pretratamiento biomasa lignocelulósica, fermentación y por último purificación, como se muestra en la Figura 2. Cada fase involucra una serie de operaciones unitarias diseñadas para optimizar la transformación de la materia prima, garantizando así la eficiencia del proceso [33]. A medida que avanza cada etapa, la materia prima se modifica progresivamente hasta alcanzar las características necesarias para obtener γ -PGA de alta calidad como producto final [37]. La eficacia global del proceso depende en gran medida de la armonización entre estas distintas fases. La coherencia y compatibilidad entre cada etapa es crucial para mantener un rendimiento óptimo y asegurar la estabilidad en la conversión biológica de la materia lignocelulósica [43].

2.4.1 Pretratamiento biomasa lignocelulósica.

Uno de los mayores desafíos en el fraccionamiento de biomasa lignocelulósica es su recalcitrancia, causada por la interacción de celulosa, hemicelulosa y lignina, que forman una pared celular densa y resistente [44]. Para mejorar la digestibilidad enzimática, se requiere un pretratamiento que elimine estas barreras. Este pretratamiento puede ser físico, químico, fisicoquímico, biológico o una combinación de estos métodos y es necesario antes de realizar la hidrólisis enzimática [45].

Se elaboraron diagramas de bloques y de flujo considerando inicialmente un pretratamiento químico con NaOH ver Figura A-3 Y A-4; sin embargo, debido al uso intensivo de productos químicos y al impacto ambiental asociado, se decidió optar por solventes eutécticos profundos (DES) como alternativa más sostenible [46] ver Figura 2. Estos DES han emergido como alternativas sostenibles y eficientes para la disolución y separación de los componentes de la biomasa lignocelulósica [47]. Los disolventes DES se sintetizan mezclando un donante de enlaces de hidrógeno (HBD) y un aceptor de enlaces de hidrógeno (HBA), creando una solución homogénea mediante interacciones de enlaces de hidrógeno [48].

2.4.2 Eliminación de inhibidores.

El refinamiento de la lignocelulosa mediante líquidos iónicos o disolventes eutécticos profundos (DES) representa una estrategia prometedora para descomponer de forma eficiente los distintos componentes de la biomasa lignocelulósica, al tiempo que se preserva la estructura y las propiedades de los productos obtenidos lo que no sucede al emplear un pretratamiento químico con NaOH, ver Figura A-5. En particular, el pretratamiento con

DES [49] empleando una mezcla de cloruro de colina e imidazol en una proporción molar 3:7 permite operar bajo condiciones suaves, lo que elimina la necesidad de incluir una etapa adicional para la eliminación de inhibidores, debido a la baja generación de compuestos tóxicos durante el proceso [50].

A diferencia de los pretratamientos ácidos o alcalinos, este método se lleva a cabo a temperaturas moderadas (80 °C) y sin agentes fuertemente degradantes, lo que reduce drásticamente la formación de compuestos tóxicos como furfural, HMF o ácidos orgánicos [46]. Además, el proceso incluye un lavado con etanol absoluto (99.5%), que no solo remueve el solvente residual, sino que también arrastra lignina solubilizada y compuestos fenólicos potencialmente inhibitorios. Como resultado, las concentraciones de inhibidores en la biomasa pretratada son muy bajas (menores a 0.2 g por 100 g de biomasa) [40], lo cual está por debajo del umbral de toxicidad para cepas fermentativas convencionales [51]. Esto permite continuar directamente con la hidrólisis enzimática y posteriores etapas fermentativas, sin necesidad de una detoxificación intermedia [52].

2.4.3 Hidrólisis enzimática.

La hidrólisis enzimática más apropiada, de acuerdo con la literatura, de mazorca de maíz pretratada se logrará al usar una concentración de sustrato del 5% (p/v) en buffer fosfato 35 mM (pH 5.5). Las condiciones óptimas incluyeron una carga de celulasa de 60 FPU/g de sustrato (Celluclast 1.5 L). La reacción se llevó a cabo a 50°C y 150 rpm durante 45 horas. Bajo estas condiciones, se obtuvieron concentraciones finales de 15.3 ± 0.3 g/L de glucosa y 22.34 ± 0.17 g/L de xilosa, lo que representa una tasa de conversión de biomasa superior al 60% [42].

2.4.4 Fermentación y purificación de PGA.

Para esta etapa se usará el microorganismo *Bacillus subtilis* GXC-36. Esta cepa fue seleccionada debido a su capacidad de producir ácido poli- γ -glutámico (PGA) con un título alto, alcanzando una concentración de 25 g/L en el caldo de fermentación[42]. El proceso de producción y purificación de PGA comienza con un medio de inóculo compuesto por hidrolizado de mazorca de maíz (10 g/L), extracto de levadura (5 g/L), L-glutamato (5 g/L), KH_2PO_4 (0.5 g/L), y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.1 g/L), con un pH ajustado a 6.5, cultivado durante 12 horas en agitación.

Para la fermentación, se utiliza un medio enriquecido con glucosa extraída de la biomasa lignocelulósica (40 g/L), extracto de levadura (2.5 g/L), L-glutamato (30 g/L), y antiespumante (0.3 mL/L), con aireación controlada y agitación creciente hasta 400 rpm, mientras que la purificación del PGA se inicia con la acidificación del caldo (pH 3.0) mediante HCl, seguido de filtración utilizando perlita como ayudante de filtración (10 g/L) para eliminar bacterias. La ultrafiltración cíclica se realiza con membranas de fibra hueca (300 kDa) para concentrar y limpiar el PGA[42]. Finalmente, el secado por congelación asegura la máxima integridad y recuperación del biopolímero, mientras que el secado por pulverización se evaluó como alternativa, aunque afecta negativamente la estructura molecular del PGA debido a las altas temperaturas [42].

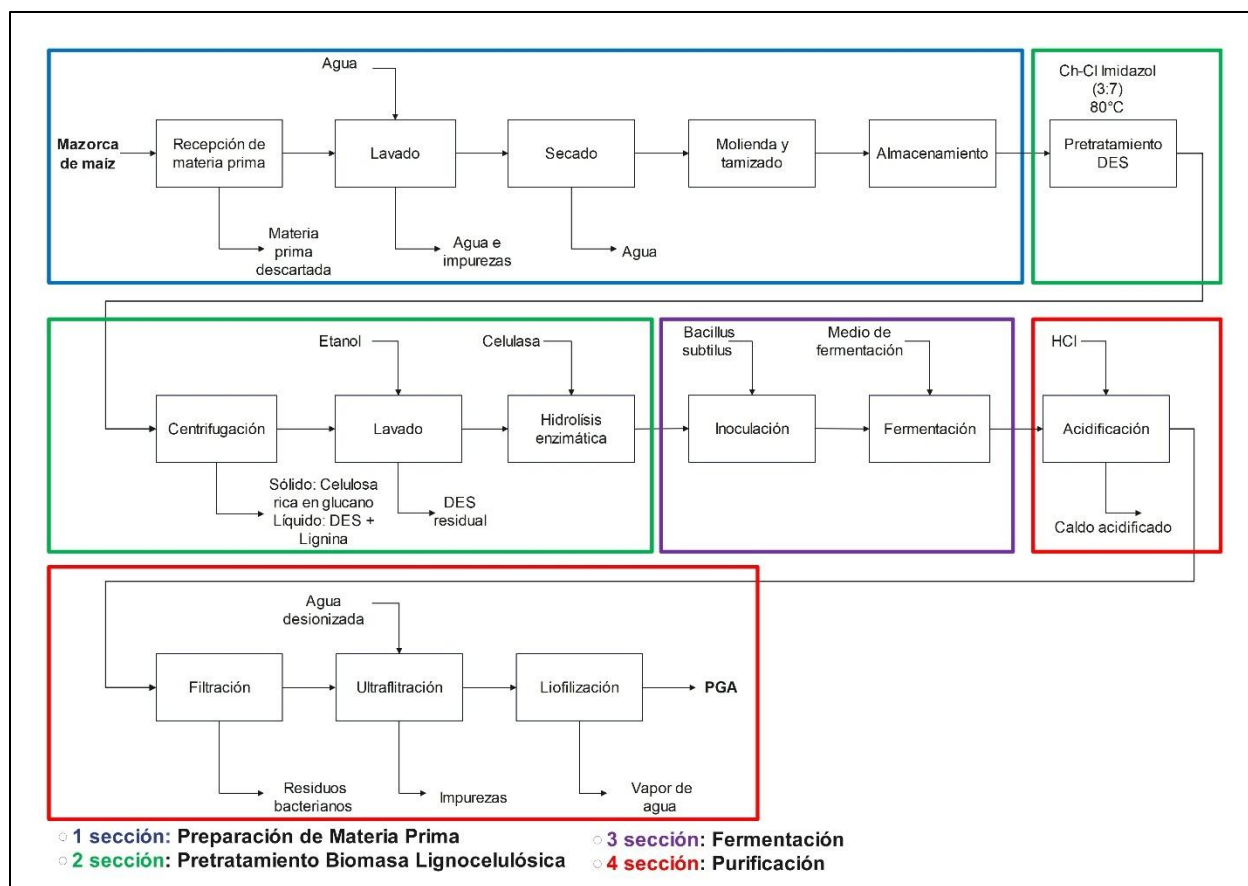


Figura 2 Diagrama de bloques producción de PGA con DES

2.5 Limitaciones y normas

Este proyecto enfrenta ciertas limitaciones que, aunque algunas podrían percibirse como obstáculos, otras contribuyen a garantizar una producción industrial responsable. En primer lugar, existe una escasez de información científica sobre el empleo de mazorca de maíz (alote) en pretratamientos de biomasa lignocelulósica, procesos de hidrólisis y la obtención de γ - PGA, lo que representa un desafío para el desarrollo de investigaciones en estos ámbitos. Adicionalmente, la cosecha del maíz solo ocurre dos veces al año [53], lo que implica la necesidad de almacenar la materia prima pulverizada para garantizar un suministro constante en el proceso de producción.

2.5.1 Normas y legislaciones.

Para la instalación y operación de esta planta piloto, es necesario cumplir con una serie de requisitos legales y técnicos exigidos por las autoridades municipales y nacionales entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Patente municipal
- Tasa de habilitación
- Permiso de uso de suelo
- Permiso del Cuerpo de Bomberos
- Ministerio de Salud Pública MSP
- Ministerio de Industria y Productividad – MIPRO
- Autoridad Sanitaria Nacional mediante la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria -ARCSA y Direcciones Provinciales de Salud.
- Subsecretaría de Calidad Ambiental -Permiso Ambiental

Además, HCl y $NaOH$ necesario para la fase de purificación del PGA, está regulado por la secretaria técnica de Drogas (SETED), lo que obliga a cumplir estrictamente con las normativas legales correspondientes [54]

2.5.2 Marco Legal.

Cualquier actividad industrial o comercial que se lleve a cabo en el territorio ecuatoriano y que genere un impacto ambiental debe cumplir con la normativa establecida en el marco legal descrito en el Anexo C, 8.3.1 Leyes.

2.6 Ubicación

La Universidad San Francisco, ubicada en Quito, Ecuador, es reconocida por su destacada trayectoria en el campo de los bioprocesos, contando actualmente con diversos proyectos de investigación en esta área que han generado resultados prometedores lo que justifica la instalación de una planta piloto en esta universidad. Este nuevo espacio permitirá escalar los descubrimientos de laboratorio a nivel semi-industrial, brindando a estudiantes e investigadores la oportunidad de validar sus hallazgos en condiciones más cercanas a la realidad productiva, consolidando así a la institución como un referente en el desarrollo.

2.7 Terminología especializada

Bacillus subtilis: Bacteria Gram positiva ampliamente estudiada en procesos biotecnológicos, conocida por su capacidad de producir enzimas y metabolitos de interés industrial. Se destaca por su adaptabilidad a diversos ambientes y su potencial en procesos fermentativo [42].

Biomasa lignocelulósica: Conjunto de materiales de origen vegetal no destinados al consumo alimentario, compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa. Incluye residuos agrícolas, forestales y cultivos energéticos [55].

Celulosa: Principal componente estructural de la biomasa lignocelulósica. Se caracteriza por ser un polisacárido cuyas fibras se entrelazan mediante enlaces de hidrógeno tanto intra como intermoleculares [11].

Detoxificación: Proceso biológico o químico mediante el cual se eliminan o reducen compuestos tóxicos o inhibitorios de un sustrato, mejorando su calidad para posteriores procesos fermentativos o aplicaciones específicas [56].

Fermentación: Proceso biológico de preservación donde microorganismos específicos transforman azúcares en otros compuestos químicos, generalmente en alcoholes, gases o ácidos [35].

Hemicelulosa: Biopolímero complejo y ramificado compuesto por diferentes azúcares (pentosas y hexosas) y ácidos urónicos. Se distingue por su estructura amorfa y peso molecular reducido [11].

Inhibidores enzimáticos: Compuestos que interfieren con la actividad normal de las enzimas, disminuyendo o bloqueando la velocidad de las reacciones que estas catalizan [41] .

Inóculo: Porción controlada de microorganismos (bacterias, virus u otros) que se introduce para iniciar un cultivo microbiano [35].

Lignina: Polímero aromático complejo formado por unidades fenilpropanoides interconectadas, creando una matriz estructural elaborada [11].

γ -PGA: El ácido poli- γ -glutámico (PGA) es un polímero derivado de microbios formado a partir de enlaces amida entre los grupos α -amino y γ -carboxilo del ácido L/D-glutámico [42].

3. DISEÑO DEL PROCESO

El diseño del proceso de producción de ácido poliglutámico está basado en la producción biotecnológica explicada en la sección 2.4 donde se puede observar el proceso detallado en el diagrama de la Figura 2.

3.1 Determinación del caudal de producción de PGA

Como se indicó en la sección 2.1.1, en el Ecuador se produce alrededor de 1,4 millones de toneladas de maíz seco de los cuales en pichincha se producen 8,390 toneladas de maíz seco

3.1.1 Cálculo de las tusas producidas en total.

Se producen en pichincha alrededor de 45,107.53 mazorcas de maíz; sin embargo, se tomará en cuenta únicamente el 0.12 % de estas por varios factores relacionados con la disponibilidad y la gestión de los residuos agroindustriales [53]. Aunque Ecuador produce más de 45,000 toneladas de mazorca al año, no toda esta cantidad está disponible para proyectos, ya que los residuos generados por la agroindustria, como la mazorca, se usan en primera instancia como alimento para ganado y no siempre están disponibles de manera continua debido a la falta de infraestructura de recolección y manejo adecuado [57]. Por lo tanto, se ha considerado prudente utilizar solo una fracción del total disponible, asegurando que se aprovechen los residuos de manera eficiente y sea factible el abastecimiento anual de la materia prima sin recurrir a transportarlos desde otras provincias.

Ahora bien, las importaciones en Ecuador de desechos plásticos que, comúnmente se usa para reciclaje y fabricación de otros plásticos fue en 2019 de 119.36 mil toneladas de plástico [58]; sin embargo, se estima que el 40% terminan siendo enterrados en territorios públicos ya que vienen mezclados con material orgánico o tierra, por lo cual ya no podrían ser aprovechados

[59]. En este contexto, esta planta piloto, producirá 5 toneladas de γ -PGA al año, lo que cubrirá aproximadamente el 0.049 % de las importaciones de desechos plásticos en el país.

3.1.2 Cálculo del γ -PGA.

El proyecto tiene como meta producir 5 toneladas de γ -PGA al año. Se producirá 54 kg de γ -PGA por ciclo, y se realizarán 93 ciclos al año de 80 horas, lo que permitirá estimar a siguiente producción anual:

$$\text{Producción anual} = 93 \text{ ciclos/año} \times 54 \text{ kg/ciclo} = 5,022 \text{ kg/año}$$

3.1.3 Modo de operación.

El proceso de producción de γ -PGA se divide en tres secciones: pretratamiento, fermentación y purificación ver Figura 3 En la primera sección (corrientes 1-22), la mazorca de maíz se recibe, se lava, se seca, se tritura y se muele, para luego almacenarse; en paralelo, se preparan los disolventes eutécticos profundos (DES) y se realiza el pretratamiento químico. La segunda sección (corrientes 23-29) comprende la fermentación, donde el medio de inoculación se prepara y luego se transfiere al fermentador principal para la producción de γ -PGA. En la tercera sección (corrientes 29-39), el caldo de fermentación se filtra, se acidifica, se realiza una segunda filtración y se concentra mediante ultrafiltración; finalmente, el γ -PGA se seca, obteniendo un producto con una pureza del 94%, que se almacena para su uso final.

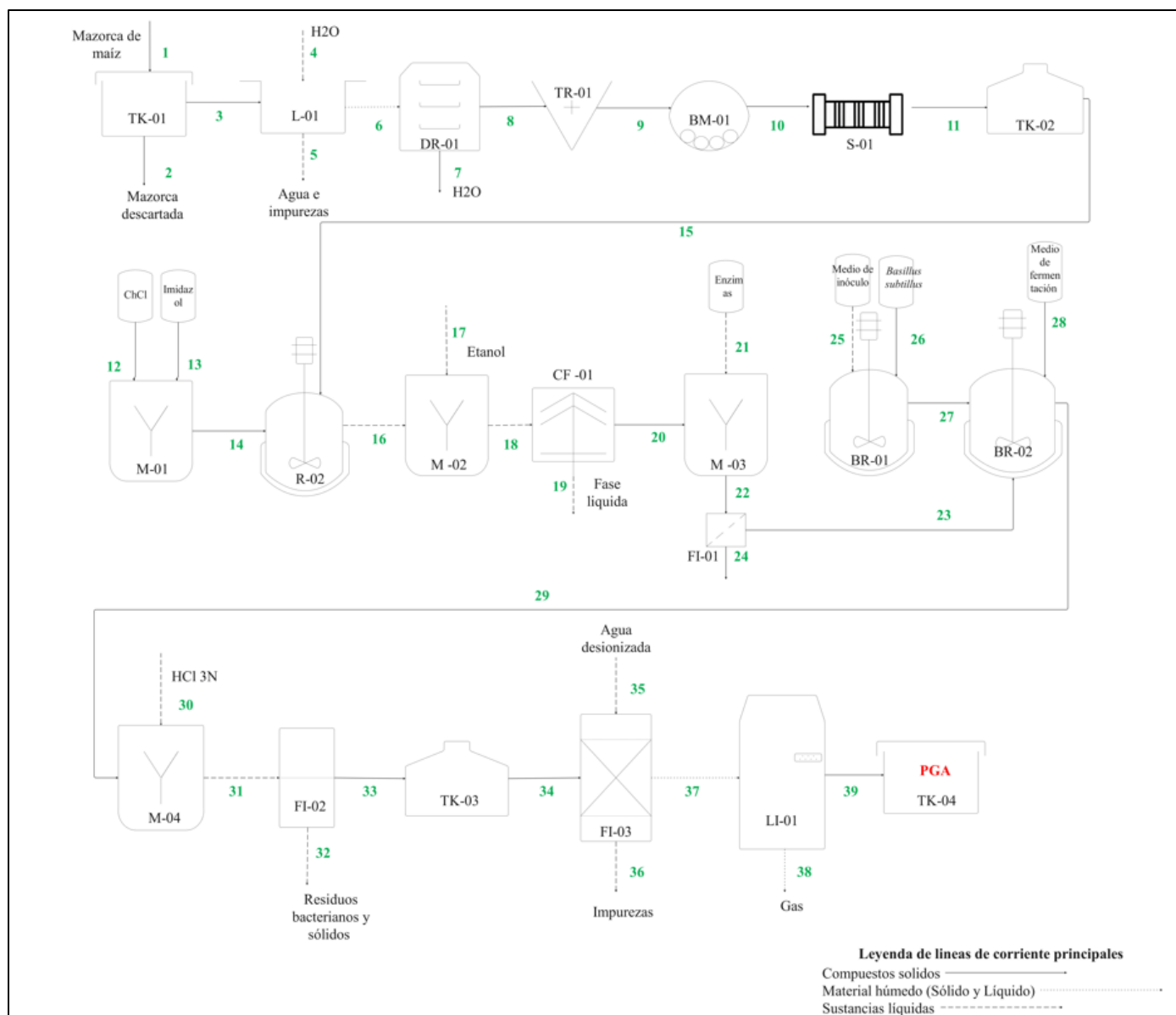


Figura 3 Diagrama PFD de la producción de PGA

Tabla 1 Simbología de equipos del diagrama de flujo.

Código	Descripción
TK-01	Tanque de almacenamiento materia prima
L-01	Balsa de lavado
DR-01	Secador
TR-01	Trituradora
BM-01	Molino de bolas
S-01	Tamiz
TK-02	Tanque almacenamiento mazorca tratada

M-01	Tanque preparación DES
R-02	Reactor pretratamiento DES
M-02	Tanque mezclador lavado etanol
CF-01	Centrifugadora
M-03	Tanque mezclador de hidrólisis enzimática
BR-01	Biorreactor de inóculo
BR-02	Biorreactor de fermentación
M-04	Tanque mezclador de acidificación
FI-01	Filtro de placas y marcos
TK-03	Tanque de almacenamiento
FI-023	Filtro de placas y marcos
FI-03	Ultrafiltración
LF-01	Liofilizador

3.2 Balance de masa

El proceso de producción de γ -PGA se diseñó con base en un caudal de 54 kg por ciclo, lo que permitió calcular la cantidad necesaria en cada corriente. El punto de partida fue la corriente 40, explicada en la Sección 3.1. Durante todo el proceso se consideraron las pérdidas de masa en las diferentes operaciones unitarias para asegurar una estimación precisa de los flujos. Para más detalles, ver Anexo C, Tabla A-7. Para realizar este balance, se deben tomar en cuenta varios parámetros clave, como:

- **Materia prima:** Representa las cantidades de los insumos iniciales necesarios para el proceso, que en este caso se utilizarán para producir γ – PGA.
- **Subproductos:** Durante el proceso de producción, no todo lo que entra se convierte en γ – PGA.; por lo tanto, se generan subproductos. Estos subproductos pueden ser compuestos intermedios o productos que no se utilizan en el producto final, y deben ser contabilizados en el balance de masa.
- **Residuos:** Parte de la materia prima puede convertirse en residuos, es decir, sustancias que no se pueden utilizar más y que requieren ser eliminadas o tratadas. Estos

también deben ser considerados en el análisis para evitar errores en las estimaciones de consumo y producción.

- **Pérdidas de masa:** En diversas operaciones unitarias, pueden ocurrir pérdidas de masa debido a factores como, filtración, fugas. Estas pérdidas también se encuentran documentadas y consideradas dentro del balance de masa.
- **Ciclo de producción:** El balance de masa se realiza por ciclo, es decir, para cada lote de producción.

A continuación, se presenta un resumen del balance de masa de este proyecto, sin embargo, cada especificación y procedimiento utilizado se encuentra detallado en el Anexo C, Tabla A-8.

Tabla 2 Resumen balance de energía para un ciclo de producción.

Corriente	1	2	3	4	5	6	7
kg	514.12	128.53	385.59	963.98	26.99	1322.57	674.78
Corriente	8	9	10	11	12	13	14
kg	399.47	395.20	391.48	342.55	1295.93	3836.52	5480.75
Corriente	15	16	17	18	19	20	21
kg	342.55	5823.30	1370.19	6689.94	131.99	168.30	22.30
Corriente	22	23	24	25	26	27	28
kg	2685.88	248.40	2437.49	89.50	0.38	89.90	291.04
Corriente	29	30	31	32	33	34	35
kg	505.42	59.98	2977.16	671.44	2305.72	2305.72	5764.31
Corriente	36	37	38	39	40		
kg	7965.76	204.23	612.70	761.95	54.98		

3.3 Balance de energía

En este caso, se llevó a cabo un balance energético detallado, en el que se calculó el consumo individual de energía de cada equipo involucrado en el proceso. Para determinar el consumo semanal, se tomó el consumo energético por hora de cada equipo y se multiplicó por el número de

horas estimadas de operación semanal. Este enfoque permite obtener una visión más precisa del gasto energético total, considerando la frecuencia y duración de uso de cada equipo. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

Tabla 3 Balance de energía del proceso de obtención de γ -PGA.

Código	Descripción	Potencia [kW]
TK-01	Tanque de almacenamiento materia prima	1.2
L-01	Balsa de lavado	3.75
DR-01	Secador	5.15
TR-01	Trituradora	3.00
BM-01	Molino de bolas	112
S-01	Tamiz	4.5
TK-02	Tanque almacenamiento mazorca tratada	1.5
M-01	Tanque preparación DES	0.01
R-02	Reactor pretratamiento DES	84.66
M-02	Tanque mezclador lavado etanol	101.12
CF-01	Centrifugadora	6.5
M-03	Tanque mezclador de hidrólisis enzimática	490.09
BR-01	Biorreactor de inóculo	14.34
BR-02	Biorreactor de fermentación	2746.22
M-04	Tanque mezclador de acidificación	194.70
FI-01	Filtro de placas y marcos	15.00
TK-03	Tanque de almacenamiento ultrafiltración	1.5
FI-023	Filtro de placas y marcos	15.00
FI-03	Ultrafiltración	15.00
LF-01	Liofilizador	3.00
TOTAL		3818.24

Después de realizar los balances de masa y energía Anexo B 8.2.2 se pudo evidenciar que los equipos que operan por más horas son los que tienen un consumo energético mayor, por ejemplo, los biorreactores y el tanque de hidrólisis enzimática.

4. DISEÑO DE LA PLANTA

4.1 Selección de equipos

Una vez definidas las operaciones unitarias en el capítulo anterior se realiza la selección de los equipos para cada operación. La metodología de dimensionamiento se detalla en el Anexo B.

4.1.1 Selección de equipos pretratamiento materia prima.

Los equipos seleccionados son de Acero Inoxidable AISI 304 debido a su resistencia a la corrosión y compatibilidad con los disolventes utilizados en el pretratamiento. El tanque de hidrólisis enzimática contará con agitación interna y chaqueta térmica para mantener la temperatura durante el proceso. Tras la trituración, la mazorca alcanzará un tamaño de partícula de 0.5 a 2 mm, adecuado para el pretratamiento y fermentación necesaria para la producción de γ -PGA. Esta secuencia de equipos está cuidadosamente seleccionada para asegurar que cada etapa del proceso se realice de manera óptima, maximizando el rendimiento y la calidad del producto final.

4.1.2 Reactores para el proceso de fermentación.

Un biorreactor es un contenedor utilizado para cultivar microorganismos, controlando factores como temperatura, pH, agitación y oxigenación para promover su crecimiento [33]. En la producción de ácido γ -poliglutámico (γ -PGA), se utilizará uno con control automático de pH, manteniéndolo en 6.5 [33]. La agitación se regula entre 200 y 400 rpm, mientras que la temperatura se mantiene a 45 °C. La aireación se proporciona a un ritmo de 1.2 vvm, y se emplea un agente antiespumante para evitar la formación de espuma. Este tipo de biorreactor garantiza condiciones operativas óptimas para la fermentación y producción eficiente de γ -PGA [42]. Para el dimensionamiento de estos equipos se realizó

una simulación en Super Pro Designer ver Figura 8 para conocer el volumen tanto del reactor de inoculación y fermentación.

4.1.3 Sistemas para la purificación de PGA.

En el proceso de purificación del ácido γ -poliglutámico (γ -PGA), se utilizan varios equipos clave para garantizar la obtención de un producto de alta pureza. Primero, una unidad de filtración de placas y marcos elimina bacterias y partículas sólidas del caldo de fermentación acidificado, utilizando perlita como ayuda filtrante. Luego, un sistema de ultrafiltración cíclica, con una membrana de fibra hueca de corte molecular de 300 kDa, remueve impurezas de bajo peso molecular como glucosa, pigmentos y proteínas, además de concentrar el PGA. Finalmente, el concentrado se seca mediante liofilización, lo que permite obtener un producto en polvo con una pureza del 94.8%, sin necesidad de precipitantes externos [42].

4.1.4 Otros equipos en la operación.

Durante el proceso de producción, es esencial seleccionar métodos de transporte adecuados para los diferentes materiales involucrados. Según la Figura 3, las corrientes principales se distinguen mediante símbolos que indican el tipo de material (sólido, líquido o húmedo). Las sustancias sólidas se trasladan mediante cintas transportadoras, mientras que los materiales húmedos se transportan con tornillos sin fin. Para los líquidos, se utilizan bombas centrífugas, asegurando así un manejo eficiente y seguro de cada tipo de compuesto[60][61].

4.2 Diseño y dimensionamiento de equipos

En esta sección se presenta una tabla resumen de los diferentes equipos usados en el proceso de obtención de γ – PGA. Los cálculos se encuentran en el Anexo D.

Tabla 4 Dimensiones de cada equipo usados en el proceso de obtención de γ -PGA.

Equipo	Capacidad [L]	Dimensiones [m]
Balsa de lavado	1670	$2.80 \times 1.22 \times 1.40$ (L×W×H)
Secador	1630	0.38×0.56 (D×H)
Trituradora	710	$0.8 \times 0.65 \times 0.72$ (L×W×H)
Molino de bolas	720	$3.54 \times 1.34 \times 1.45$ (L×W×H)
Tamiz	710	$1.20 \times 2.20 \times 3.20$ (L×W×H)
Reactor pretratamiento DES	630.00	0.15×0.36 (D×H)
Tanque mezcla DES	10.00	0.64×1.54 (D×H)
Tanque mezclador lavado etanol	2850.00	1.15×2.75 (D×H)
Tanque mezclador hidrolisis	5920.00	1.46×3.51 (D×H)
Biorreactor Inoculo	150	0.45×1.09 (D×H)
Biorreactor Fermentación	2470	1.16×2.79 (D×H)
Tanque mezclador acidificación	3450.00	1.22×2.94 (D×H)
Filtro placas y marcos	4030.00	$3.18 \times 1.20 \times 1.3$ (L×W×H)
Filtro placas y marcos	2930	$3.18 \times 1.20 \times 1.3$ (L×W×H)
Liofilizador	250	$3.5 \times 2.5 \times 2$ (L × W × H)
Tanque 01	1130.00	0.84×2.02 (D×H)
Tanque 02	750.00	0.74×1.77 (D×H)
Tanque 03	2610.00	1.11×2.67 (D×H)
Tanque 04	48.24	0.28×0.68 (D×H)

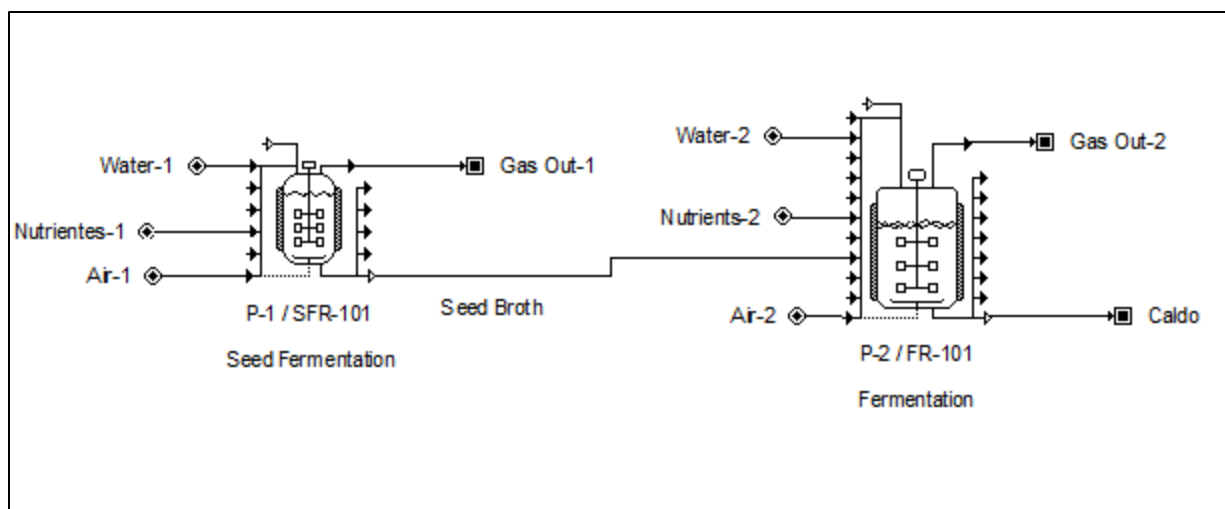


Figura 4 Simulación en SuperPro Designer.

La simulación realizada en SuperPro Designer para la etapa de fermentación proporcionó una herramienta esencial para el dimensionamiento de los equipos involucrados en este proceso. A través de la simulación, se ajustaron parámetros clave como, el tiempo de fermentación, y las tasas de transferencia de masa y calor, además, se utilizaron los parámetros de Monod para modelar el crecimiento de *Bacillus subtilis*, donde los valores de μ (tasa máxima de crecimiento) 0.374 h^{-1} y K_s (constante de saturación) $0.35 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, que fueron determinados previamente [59], además se usó la opción para ajustar automáticamente la tasa de aireación durante la fermentación, lo que permite mantener niveles óptimos de oxígeno según las necesidades del proceso lo que permitió obtener los valores más cercanos de concentración de PGA en el caldo de fermentación, esto aseguró que la planta operara bajo condiciones óptimas de eficiencia, maximizando la producción de γ -PGA.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Estimación de costos

Para estimar los costos de una planta, el primer paso es obtener cotizaciones detalladas de materias primas Tabla A-2 y de los equipos necesarios Figuras A-6-232, lo que incluye no solo el costo inicial de adquisición, sino también los costos adicionales como transporte, instalación y pruebas [60]. Posteriormente, se deben calcular los costos de inversión inicial, que abarcan los costos de construcción, licencias y la puesta en marcha de los equipos en la planta esto se encuentra en el Anexo F.

Normalmente al usar el método basado en el costo de adquisición de equipos estándar de planta, descrito en la Tabla 6.6 del libro Chemical Engineering Design (2019)[60] se obtiene una notable discrepancia entre los costos teóricos y los reales, lo que sugiere que los primeros están sobreestimados. Por esta razón, se optará por utilizar precios basados en cotizaciones reales, que reflejan los valores actuales del mercado. En este contexto, los costos ISBL (Inside Battery Limits) definidos para el proyecto ascienden a \$153,664.68. A partir de este valor, se estimó la inversión de capital fijo, que comprende los recursos necesarios para el diseño, construcción, adecuación del terreno e instalación de la planta[60]. Asimismo, se determinaron los costos de producción fijos y variables, siendo los primeros independientes del nivel de producción y los segundos directamente proporcionales al rendimiento y la capacidad operativa de la planta[60]. Finalmente, se incluye el cálculo del capital de trabajo, que corresponde al dinero adicional necesario para completar la construcción física de la planta.

Tabla 5 Dimensiones de cada equipo usados en el proceso de obtención de γ -PGA.

Descripción	Valor [USD]
Inversión de capital Fijo	\$244,326.85
Costos de producción variables	\$68,916.84
Costos de producción fijos	\$2,580.00
Capital de Trabajo	\$20,717.01

Las materias primas utilizadas en el proceso de producción provienen de diversos proveedores, lo que asegura la disponibilidad y calidad constante de los insumos necesarios para la fabricación. Cada uno de estos insumos tiene un costo específico por kilogramo, lo cual varía según el proveedor y la demanda del mercado.

En la planta piloto para la obtención de biopolímero Y-PGA, se contará con un equipo de 6 trabajadores, distribuidos según las necesidades operativas y técnicas de la planta.

Tabla 6 Descripción de empleados en la planta piloto.

Descripción Trabajadores	Cantidad	Sueldo	Total
Administrativos	2	\$600.00	\$1,200.00
Prácticas profesionales	2	\$0.00	\$0.00
Planta	3	\$460.00	\$1,380.00

Todos los datos de estimación de costos se muestran en el Anexo F.

5.2 Estimación de ingresos en la planta

Para determinar el precio de venta del PGA producido en la planta piloto, se consideraron los costos totales de producción con un margen de ganancia del 50% y dado que la planta tiene una capacidad de producción anual de 5 toneladas (5000 kg), se calculó un precio de venta unitario de \$27.27 por kilogramo, además de alquilar la planta piloto a \$50 la hora durante 8 horas diarias 5

días a la semana con lo cual asegura cubrir los costos de producción y obtener la ganancia proyectada [61].

Tabla 7 Resumen de ingresos en la planta piloto.

Ítem	Cantidad [USD]
Ingresos netos	\$90,888.11
Costo de producción 1Kg	\$18.18
Precio de venta del producto (con margen 50%)	\$27.27
Ventas anuales	\$240,332.16
Margen de producción bruto	\$171,415.32
Beneficio bruto	\$149,444.05

5.3 Evaluación económica del proyecto

Los valores de VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno) se utilizarán en esta sección para evaluar económicamente el proyecto, ya que son indicadores clave para medir la rentabilidad y viabilidad de la planta a corto, mediano y/o largo plazo [61]. El VAN permite conocer cuánto se puede ganar o perder al invertir en el proyecto, representando el valor presente de los flujos de caja futuros descontados a una tasa específica (TMAR); un VAN positivo indica que el proyecto generará valor adicional. Por otro lado, la TIR muestra el porcentaje de rentabilidad anual del proyecto, siendo la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero; si la TIR es mayor que la TMAR, el proyecto es rentable [62], ya que su rendimiento supera la tasa mínima esperada. Ambos indicadores proporcionan información complementaria: el VAN expresa la ganancia neta en términos absolutos, mientras que la TIR refleja la rentabilidad en términos relativos.

Tabla 8 Recuperación de la inversión.

Descripción	Cantidad
Valor actual neto	\$415,294.82

Tasa interna de retorno	45%
Tasa de interés	10%
Tiempo de recuperación	2.02

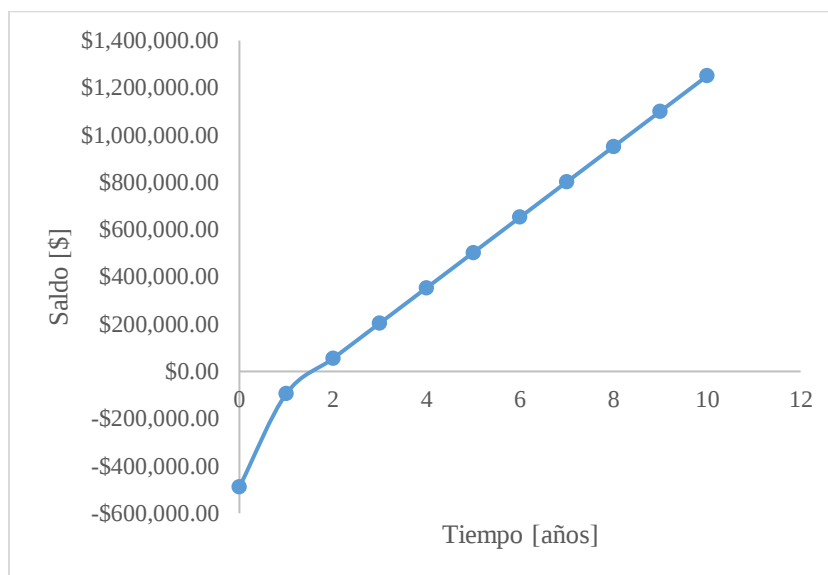


Figura 5 Gráfica flujo de caja, tiempo de recuperación de la inversión.

Con esta información se estima que el proyecto es rentable, primero porque la tasa interna de retorno es mayor a la tasa de interés del banco y además en 2.02 años se recuperará la inversión como se observa en la Figura 5.

Este proyecto corresponde a un estudio de prefactibilidad, por lo que es probable que, al realizar un análisis económico más exhaustivo, la Tasa Interna de Retorno (TIR) disminuya y el tiempo de recuperación de la inversión resulte mayor, debido a que en estudios preliminares no siempre se consideran todos los costos indirectos, imprevistos o fluctuaciones de mercado, factores que suelen incorporarse en evaluaciones económicas más detalladas y precisas [63].

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de prefactibilidad para la producción de biopolímeros a partir de biomasa ha demostrado su viabilidad técnica, económica y ambiental, destacando el uso del balance de masa y energía como herramienta fundamental para optimizar el consumo de materia prima y los productos generados en cada etapa. Estos resultados proporcionan una base sólida para la planificación operativa y ofrecen una visión clara de los desafíos y oportunidades en el escalamiento del proyecto. Sin embargo, es importante resaltar que, aunque el PGA fue el modelo utilizado para el diseño, la planta cuenta con la flexibilidad de adaptarse para la producción de otros metabolitos.

Asimismo, el dimensionamiento y selección de equipos adecuados reflejan un enfoque técnico que permite replicar de manera confiable las condiciones óptimas para la producción de γ -PGA. Este proceso asegura que la planta piloto sea capaz de operar bajo parámetros representativos, minimizando incertidumbres al momento de proyectar un escalamiento industrial.

Desde una perspectiva económica, el proyecto es altamente prometedor. La Tasa Interna de Retorno (TIR) supera significativamente la tasa de interés bancaria, lo que evidencia su rentabilidad. Además, el tiempo estimado de recuperación de la inversión, inferior a cinco años, lo convierte en una opción viable y atractiva para inversionistas. A esto se suma el impacto positivo en la economía circular, ya que el uso de residuos agrícolas como materia prima refuerza la sostenibilidad económica y ambiental del país.

En términos de sostenibilidad, el proyecto aporta a la solución del problema de los plásticos no biodegradables mediante el desarrollo de biopolímeros a partir de fuentes renovables. Al utilizar biomasa subutilizada, como la tusa de maíz, no solo se reduce la generación de residuos, sino que también se fomenta la diversificación económica y el desarrollo rural, mejorando la calidad de vida en las comunidades agrícolas.

Para fortalecer la viabilidad técnica del proyecto, se recomienda primero realizar el proceso de obtención de γ -PGA a escala de laboratorio. Esta etapa permitirá corroborar el grado de pureza del biopolímero y ajustar los parámetros del proceso antes de escalarlo a nivel piloto. Además, facilitará identificar posibles limitaciones técnicas y optimizar las etapas críticas, como la fermentación y purificación, reduciendo riesgos en fases posteriores.

7. REFERENCIAS

- [1] J. D. Chea, K. M. Yenkie, J. F. Stanzione, and G. J. Ruiz-Mercado, “A generic scenario analysis of end-of-life plastic management: Chemical additives,” *J Hazard Mater*, vol. 441, p. 129902, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2022.129902.
- [2] S. Sridharan, M. Kumar, M. Saha, M. B. Kirkham, L. Singh, and N. S. Bolan, “The polymers and their additives in particulate plastics: What makes them hazardous to the fauna?,” *Science of the Total Environment*, vol. 824, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.153828.
- [3] Agrplastics, “Plástico Circular: qué es y su importancia - Agriplastics Community.” Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://agriplasticscommunity.com/es/plastico-circular-que-es-y-su-importancia/>
- [4] PlasticsEurope, “Plastics – the fast Facts 2023,” Plastic Europe Enable and Sustainable Future.
- [5] S. Nanda, · Biswa, R. Patra, · Ravi Patel, J. Bakos, and A. K. Dalai, “Innovations in applications and prospects of bioplastics and biopolymers: a review,” vol. 20, pp. 379–395, 2022, doi: 10.1007/s10311-021-01334-4.
- [6] K. Pandey, A. K. Pandey, R. Sirohi, S. Pandey, A. Srivastava, and A. Pandey, “Production and applications of polyglutamic acid,” *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biodegradable Polymers and Composites - Process Engineering to Commercialization*, pp. 253–282, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-821888-4.00021-6.
- [7] W. Zhou, S. Bergsma, D. I. Colpa, G. J. W. Euverink, and J. Krooneman, “Polyhydroxyalkanoates (PHAs) synthesis and degradation by microbes and applications

- towards a circular economy,” *J Environ Manage*, vol. 341, p. 118033, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2023.118033.
- [8] S. Mehariya, M. Plöhn, P. Jablonski, S. Stagge, L. J. Jönsson, and C. Funk, “Biopolymer production from biomass produced by Nordic microalgae grown in wastewater,” *Bioresour Technol*, vol. 376, 2023, doi: 10.1016/j.biortech.2023.128901.
- [9] J. Fradinho, L. D. Allegue, M. Ventura, J. A. Melero, M. A. M. Reis, and D. Puyol, “Up-scale challenges on biopolymer production from waste streams by Purple Phototrophic Bacteria mixed cultures: A critical review,” *Bioresour Technol*, vol. 327, p. 124820, May 2021, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2021.124820.
- [10] R. Kalpana Manivannan, N. Sharma, V. Kumar, I. Jayaraj, S. Vimal, and M. Umesh, “A comprehensive review on natural macromolecular biopolymers for biomedical applications: Recent advancements, current challenges, and future outlooks,” *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, vol. 8, p. 100536, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.CARPTA.2024.100536.
- [11] E. A. Cazier, T. N. Pham, L. Cossus, M. Abla, T. Ilc, and P. Lawrence, “Exploring industrial lignocellulosic waste: Sources, types, and potential as high-value molecules,” *Waste Management*, vol. 188, pp. 11–38, Nov. 2024, doi: 10.1016/J.WASMAN.2024.07.029.
- [12] L. L. C. Castro *et al.*, “Development of pilot plants for engineering education,” *Research, Society and Development*, vol. 13, no. 3, p. e13013345412, Apr. 2024, doi: 10.33448/RSD-V13I3.45412.
- [13] M. Ramos-Andrés, S. Díaz-Cesteros, N. Majithia, and J. García-Serna, “Pilot-scale biorefinery for the production of purified biopolymers based on hydrothermal treatment in

- flow-through reactor cycles,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 437, p. 135123, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.CEJ.2022.135123.
- [14] M. Jaén, P. Esteve, and I. Banos-González, “Future teachers facing the problem of pollution of the seas by plastics and consumption | Los futuros maestros ante el problema de la contaminación de los mares por plásticos y el consumo,” *Revista Eureka*, vol. 16, no. 1, 2019, doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1501.
- [15] K. J. Groh *et al.*, “Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards,” *Science of The Total Environment*, vol. 651, pp. 3253–3268, Feb. 2019, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2018.10.015.
- [16] M. A. Riera, S. Maldonado³, and R. R. Palma⁴, “RESIDUOS AGROINDUSTRIALES GENERADOS EN ECUADOR PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS,” *Revista Ingeniería Industrial*, vol. 17, no. 3, pp. 227–246, Nov. 2018, doi: 10.22320/S07179103/2018.13.
- [17] FAO, “Ley Orgánica para la Racionalización, Reutilización y Reducción de Plásticos de un solo Uso. | FAOLEX.” Accessed: Oct. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/faolex/results/details/es/c/LEX-FAOC200078/>
- [18] M. J. Getahun, B. B. Kassie, and T. S. Alemu, “Recent advances in biopolymer synthesis, properties, & commercial applications: a review,” *Process Biochemistry*, vol. 145, pp. 261–287, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.PROCBIO.2024.06.034.
- [19] D. Biryol, C. I. Nicolas, J. Wambaugh, K. Phillips, and K. Isaacs, “High-throughput dietary exposure predictions for chemical migrants from food contact substances for use in

- chemical prioritization,” *Environ Int*, vol. 108, pp. 185–194, Nov. 2017, doi: 10.1016/J.ENVINT.2017.08.004.
- [20] I. N. Najar *et al.*, “In search of poly-3-hydroxybutyrate (PHB): A comprehensive review unveiling applications and progress in fostering a sustainable bio-circular economy,” *Food and Bioproducts Processing*, vol. 148, pp. 11–30, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.FBP.2024.08.011.
- [21] Z. Luo *et al.*, “Microbial synthesis of poly- γ -glutamic acid: Current progress, challenges, and future perspectives,” *Biotechnol Biofuels*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, Jun. 2016, doi: 10.1186/S13068-016-0537-7/METRICS.
- [22] O. Ipiales and M. Cuichán, “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC),” Apr. 2024.
- [23] J. Martillo, L. Oliva, and R. Lesmé, “ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA TUSA EN LA PROVINCIA DE LOS RÍOS Y GUAYAS, ECUADOR.” Accessed: Oct. 13, 2024. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/346941527_ESTIMACION_DEL_POTENCIAL_ENERGETICO_DE_LA_TUSA_EN_LA_PROVINCIA_DE_LOS_RIOS_Y_GUAYAS_ECUADOR#fullTextFileContent
- [24] F. Chang, W. Li, H. Hu, F. Ge, G. Chen, and Y. Ren, “Chemical pretreatment and saccharification of corncob for poly- γ -glutamic acid production by *Bacillus subtilis* SCP010-1,” *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 159, pp. 1184–1193, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.PSEP.2022.01.071.

- [25] A. S. Denning, “Combustion to Concentration to Warming: What Do Climate Targets Mean for Emissions? Climate Change and the Global Carbon Cycle,” *Encyclopedia of the Anthropocene*, vol. 1–5, pp. 443–452, Jan. 2018, doi: 10.1016/B978-0-12-809665-9.09743-3.
- [26] F. Zhu, J. Cai, Q. Zheng, X. Zhu, P. Cen, and Z. Xu, “A novel approach for poly- γ -glutamic acid production using xylose and corncob fibres hydrolysate in *Bacillus subtilis* HB-1,” *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, vol. 89, no. 4, pp. 616–622, Apr. 2014, doi: 10.1002/JCTB.4169.
- [27] Z. Luo *et al.*, “Microbial synthesis of poly- γ -glutamic acid: current progress, challenges, and future perspectives,” 2016, doi: 10.1186/s13068-016-0537-7.
- [28] K. Pandey, A. K. Pandey, R. Sirohi, S. Pandey, A. Srivastava, and A. Pandey, “Production and applications of polyglutamic acid,” *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biodegradable Polymers and Composites - Process Engineering to Commercialization*, pp. 253–282, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-821888-4.00021-6.
- [29] T. Suzuki and Y. Tahara, “Characterization of the *Bacillus subtilis* ywtD gene, whose product is involved in γ -polyglutamic acid degradation,” *J Bacteriol*, vol. 185, no. 7, pp. 2379–2382, 2003, doi: 10.1128/JB.185.7.2379-2382.2003.
- [30] H. Tanimoto *et al.*, “Acute Effect of Poly- γ -Glutamic Acid on Calcium Absorption in Post-Menopausal Women,” *J Am Coll Nutr*, vol. 26, no. 6, pp. 645–649, 2007, doi: 10.1080/07315724.2007.10719642.

- [31] S. S. Mark, T. C. Crusberg, C. M. DaCunha, and A. A. Di Iorio, "A heavy metal biotrap for wastewater remediation using poly- γ - glutamic acid," *Biotechnol Prog*, vol. 22, no. 2, pp. 523–531, 2006, doi: 10.1021/bp060040s.
- [32] S. García-Lara and S. O. Serna-Saldivar, "Corn History and Culture," *Corn: Chemistry and Technology, Third Edition*, pp. 1–18, Jan. 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2.
- [33] B. Kumar, N. Bhardwaj, K. Agrawal, V. Chaturvedi, and P. Verma, "Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept," *Fuel Processing Technology*, vol. 199, p. 106244, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.FUPROC.2019.106244.
- [34] A. Procentese *et al.*, "Deep eutectic solvent pretreatment and subsequent saccharification of corncob," *Bioresour Technol*, vol. 192, pp. 31–36, Sep. 2015, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2015.05.053.
- [35] X. Luo, B. Zeng, Y. Zhong, and J. Chen, "Production and detoxification of inhibitors during the destruction of lignocellulose spatial structure," *Bioresources*, vol. 17, no. 1, pp. 1939–1961, Dec. 2021, doi: 10.15376/BIORES.17.1.LUO.
- [36] X. Zhang *et al.*, "An integrated strategy for recovery and purification of poly- γ -glutamic acid from fermentation broth and its techno-economic analysis," *Sep Purif Technol*, vol. 278, 2022, doi: 10.1016/j.seppur.2021.119575.
- [37] P. G. Nair and M. S. Dharne, "Sustainable and cleaner production of poly-gamma-glutamic acid (γ -PGA) biopolymer using floral waste and its anti-staling properties," *J Clean Prod*, vol. 425, 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.138709.

- [38] A. Ogunleye, A. Bhat, V. U. Irorere, D. Hill, C. Williams, and I. Radecka, “Poly- γ -glutamic acid: Production, properties and applications,” *Microbiology (United Kingdom)*, vol. 161, no. 1, pp. 1–17, Jan. 2015, doi: 10.1099/MIC.0.081448-0/CITE/REFWORKS.
- [39] L. Zhao *et al.*, “Advances in pretreatment of lignocellulosic biomass for bioenergy production: Challenges and perspectives,” *Bioresour Technol*, vol. 343, p. 126123, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2021.126123.
- [40] T. Adamovic, D. Tarasov, E. Demirkaya, M. Balakshin, and M. J. Cocero, “A feasibility study on green biorefinery of high lignin content agro-food industry waste through supercritical water treatment,” *J Clean Prod*, vol. 323, p. 129110, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2021.129110.
- [41] S. I. Okuofu, V. O’Flaherty, and O. McAuliffe, “Production of poly- γ -glutamic acid from lignocellulosic biomass: Exploring the state of the art,” *Biochem Eng J*, vol. 205, p. 109250, May 2024, doi: 10.1016/J.BEJ.2024.109250.
- [42] E. O. Owhe, N. Kumar, and J. G. Lynam, “Lignin extraction from waste biomass with deep eutectic solvents: Molecular weight and heating value,” *Biocatal Agric Biotechnol*, vol. 32, p. 101949, Mar. 2021, doi: 10.1016/J.BCAB.2021.101949.
- [43] D. Huo Conceptulization *et al.*, “Selective degradation of hemicellulose and lignin for improving enzymolysis efficiency via pretreatment using deep eutectic solvents,” *Bioresour Technol*, vol. 376, p. 128937, May 2023, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2023.128937.
- [44] H. Jiang *et al.*, “Efficient conversion of corn stover to glucose using alkaline DBU synergized glycerol-based deep eutectic solvent under mild conditions,” *Ind Crops Prod*, vol. 222, p. 119621, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.INDCROP.2024.119621.

- [45] L. Zhang, C. Zhang, Y. Ma, X. Zhao, and X. Zhang, “Lignocellulose pretreatment by Deep eutectic solvent and water binary system for enhancement of lignin extraction and cellulose saccharification,” *Ind Crops Prod*, vol. 211, p. 118257, May 2024, doi: 10.1016/J.INDCROP.2024.118257.
- [46] Y. Zhu, B. Qi, X. Liang, J. Luo, and Y. Wan, “Comparison of Corn Stover Pretreatments with Lewis Acid Catalyzed Choline Chloride, Glycerol and Choline Chloride-Glycerol Deep Eutectic Solvent,” *Polymers 2021, Vol. 13, Page 1170*, vol. 13, no. 7, p. 1170, Apr. 2021, doi: 10.3390/POLYM13071170.
- [47] J. P. Mehta, A. V. Metre, M. S. Bhakhar, and A. S. Vetel, “Comparative study of alkaline, acidic, and deep eutectic solvent pretreatments on lignocellulosic biomass for enhanced enzymatic hydrolysis,” *Biomass Convers Biorefin*, pp. 1–13, Nov. 2024, doi: 10.1007/S13399-024-06342-2/FIGURES/3.
- [48] K. Gyan, A. E. K. Afedzi, P. Tanypramphan, and P. Parakulsuksatid, “A review of the advances in detoxification strategies of lignocellulosic hydrolysate for bio-based succinic acid production,” *Biocatal Agric Biotechnol*, vol. 60, p. 103323, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.BCAB.2024.103323.
- [49] V. Porres and Cuxil Dany, “Temporada De Cosecha Del Maíz: De México A Ecuador | Blog Cambiagro,” Cambiagro. Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://blog.cambiagro.com/maiz/cosecha-de-maiz/temporada-de-cosecha-del-maiz-de-mexico-a-ecuador/>
- [50] A. Mesa, “Emisión de certificado de registro de sustancias químicas peligrosas o renovación para nivel dos uso artesanal industrial académico e investigativo | Ecuador - Guía Oficial de

- Trámites y Servicios,” Ministerio del Ambiente Agua y Transición económica. Accessed: Dec. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.gob.ec/maae/tramites/emision-certificado-registro-sustancias-quimicas-peligrosas-renovacion-nivel-uso-artesal-industrial-academico-investigativo>
- [51] A. Rech, E. Siamos, P. Nicholas, and A. E. Daugaard, “Recyclable Extrudable Biopolymer Composites from Alginate and Lignocellulosic Biomass Waste,” *ACS Sustain Chem Eng*, vol. 11, no. 24, pp. 8939–8947, Jun. 2023, doi: 10.1021/acssuschemeng.3c01119.
- [52] K. Gyan, A. E. K. Afedzi, P. Tanypramphan, and P. Parakulsuksatid, “A review of the advances in detoxification strategies of lignocellulosic hydrolysate for bio-based succinic acid production,” *Biocatal Agric Biotechnol*, vol. 60, p. 103323, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.BCAB.2024.103323.
- [53] M. Li, Y. He, and X. Ma, “Separation and quantitative detection of fermentation γ -polyglutamic acid,” *Journal of Future Foods*, vol. 2, no. 1, pp. 34–40, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.JFUTFO.2022.03.015.
- [54] L. del Rio, “INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE LA PUDRICION DE MAZORCAS DE MAIZ EN HONDURAS,” vol. 31, 1990.
- [55] Corporación Financiera Nacional, “Ficha sectorial de productos de plástico,” *CFN*, Quito, pp. 9–11, Sep. 01, 2022. doi: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2023/fichas-sectoriales-1-trimestre/Ficha-Sectorial-Productos-de-plastico.pdf>.
- [56] EL COMERCIO, “Ecuador se ubica como uno de los principales importadores de desechos plásticos,” *ELCOMERCIO*, Quito, Mar. 29, 2022.

- [57] Nariño, “Cintas transportadoras industriales: tipos, ventajas y aplicaciones de uso - Rielec,” RIELEC. Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: <https://rielec.com/cintas-transportadoras-industriales-tipos-ventajas-uso/>
- [58] Xiang, “Bomba Centrífuga: Selección, Instalación y Mantenimiento,” Dynapro. Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: <https://dynaproco.com/technical-support-resources/bomba-centrifuga-consejos-para-la-seleccion-instalacion-y-mantenimiento>
- [59] I. Fiii, I. Holmes, and V. Mageshwaran, “GROWTH KINETICS OF *Bacillus subtilis* IN LIGNOCELLULOSIC CARBON SOURCES,” *nternational Journal of Microbiology Research*, vol. 6, no. 2, pp. 570–574, Sep. 2014, Accessed: Apr. 30, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/268334859_Growth_kinetics_of_Bacillus_subtilis_in_lignocellulosic_carbon_sources
- [60] G. TOWLER and R. SINNOTT, *CHEMICAL ENGINEERING DESIGN Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. 2008.
- [61] A. Pérez, “VAN y TIR, dos herramientas para la viabilidad y rentabilidad de una inversión,” OBS Business School. Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: <https://www.obsbusiness.school/blog/van-y-tir-formulas-para-mejorar-la-rentabilidad-de-la-inversion>
- [62] E. Porras, “El TIR VAN una herramienta para analizar proyecto – Extremadura Empresarial,” Extremadura empresarial. Accessed: Dec. 02, 2024. [Online]. Available: https://www.extremaduraempresarial.es/blog_escuela/el-tir-van-una-herramienta-para-analizar-proyecto/

- [63] A. Lucía and V. Carrillo, “Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de jugos clarificados y jugos clarificados concentrados de mora, tomate de árbol y naranjilla, utilizando la tecnología de membranas,” 2008, Accessed: May 09, 2025. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/658>
- [64] P. K. Samantaray *et al.*, “Poly(glycolic acid) (PGA): A versatile building block expanding high performance and sustainable bioplastic applications,” *Green Chemistry*, vol. 22, no. 13, pp. 4055–4081, Jul. 2020, doi: 10.1039/D0GC01394C.
- [65] K. Elbanna, F. S. Alsulami, L. A. Neyaz, and H. H. Abulreesh, “Poly (γ) glutamic acid: a unique microbial biopolymer with diverse commercial applicability,” *Front Microbiol*, vol. 15, p. 1348411, Feb. 2024, doi: 10.3389/FMICB.2024.1348411/BIBTEX.

8. ANEXOS

ANEXO A: INTRODUCCIÓN

Tabla A- 1 Distinción entre plásticos convencionales y bioplásticos.

Característica	Plásticos Convencionales	Bioplásticos
Origen	Combustibles fósiles y petroquímicos	Recursos naturales
Tipo de recurso	No renovable	Renovable
Biodegradabilidad	Muy baja tasa de biodegradabilidad	La mayoría son biodegradables
Tiempo de desintegración	Alto	3-6 meses (en condiciones controladas)
Impacto ambiental	Causa contaminación	Medio a bajo
Aplicaciones comunes	Empaques, bolsas, calzado, botellas, construcción, textiles, electrónicos, cables	Empaques biodegradables, cubiertos compostables, partes de automóviles, películas comestibles, herramientas biomédicas desechables
Emisión de gases de efecto invernadero	Alta	Baja (considerados carbonos- neutrales)
Ejemplos	Polietileno de alta y baja densidad, PET, PVC, poliestireno, polipropileno	PHA, PLA, PHB, poliamida 11, poliuretanos, biopolímeros basados en celulosa, almidón, proteínas y lípidos

Nota: Esta tabla es una adaptación basada en la información presentada en el artículo "Innovations in applications and prospects of bioplastics and biopolymers: a review" por Rajendran et al., publicado en Environmental Chemistry Letters (2022). El artículo original puede encontrarse en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-021-01334-4#Tab1>

Tabla A- 2 Materias primas para la producción de PGA.

Materia Prima	Descripción	\$/kg	Proveedores
Maíz (<i>Zea mays</i> L)	Cereal de alto rendimiento utilizado como materia prima principal	\$0.01	Agricultores
Cloruro de colina (ChCl)	Componente del DES	\$2.00	Alibaba
Imidazol	Componente del DES	\$ 2.00	Alibaba
Etanol absoluto (99.5%)	Agente de lavado para remover DES residual	\$1.20	Alibaba
Cellic CTec2 (celulasa)	Enzima para la hidrólisis de celulosa	\$9.98	Alibaba
Bacillus subtilis	Microorganismo encargado de la fermentación	\$2.80	
Extracto de levadura	Fuente de nutrientes para el crecimiento microbiano durante la fermentación.	\$1.50	Condalab [40]
L-Glutamato	Componente esencial en el medio de fermentación para la producción de PGA.	\$2.00	Alibaba [41]
KH ₂ PO ₄ (Fosfato monopotásico)	Buffer utilizado para mantener el pH adecuado en el medio de cultivo y fermentación.	\$5.80	Hidroponiaec [42]
MgSO ₄ ·7H ₂ O (Sulfato de magnesio heptahidratado)	Suplemento nutricional que proporciona magnesio necesario para el crecimiento microbiano.	\$0.3	Agrizon [43]
HCl (Ácido clorhídrico)	Usado para ajustar el pH a 3.0 durante la purificación del PGA.	\$58.72	Ibdciencia [44]
Antiespumante	Usado para la etapa de ultrafiltración	\$22.00	Agrizon [43]

Tabla A- 3 Potenciales aplicaciones de γ -PGA y sus derivados.

Industria	Aplicación	Función
Tratamiento de agua y aguas residuales	Quelatos o absorbentes	Eliminación de metales pesados y radionucleidos [33]
	Biofloculantes	Sustitutos de la poliacrilamida (PAC) [64]
Industria alimentaria	Espesante	Mejora de viscosidad en bebidas [33]
	Crioprotector	Para alimentos congelados[33]
	Agente anti-amargor	Alivio del sabor amargo [35]
	Inhibidor del envejecimiento	Mejora de textura en panadería y fideos [35]
	Aditivo para piensos	Mejora absorción de minerales, fortalece cáscaras de huevo
Médica	Portador de fármacos	Liberación sostenida, terapia genética, medicamentos contra el cáncer [65]
	Adhesivo biológico	Sustituto de fibrina, hemostático [65]
	Material quirúrgico	Hilo de sutura[65]
Cosméticos	Humectante	Hidratación de la piel
Membranas	Absorbente	Alta captación de metales pesados [37]
	Agente enantioselectivo	Separación de aminoácidos [37]

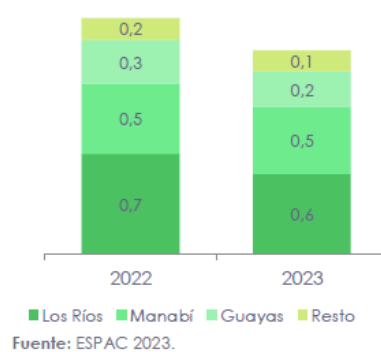


Figura A- 1 Producción de maíz seco en Ecuador, 2023[22]

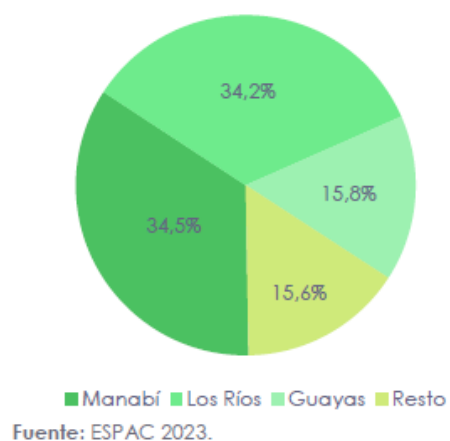


Figura A- 2 Porcentaje de participación en la superficie cosechada, 2023.[22]

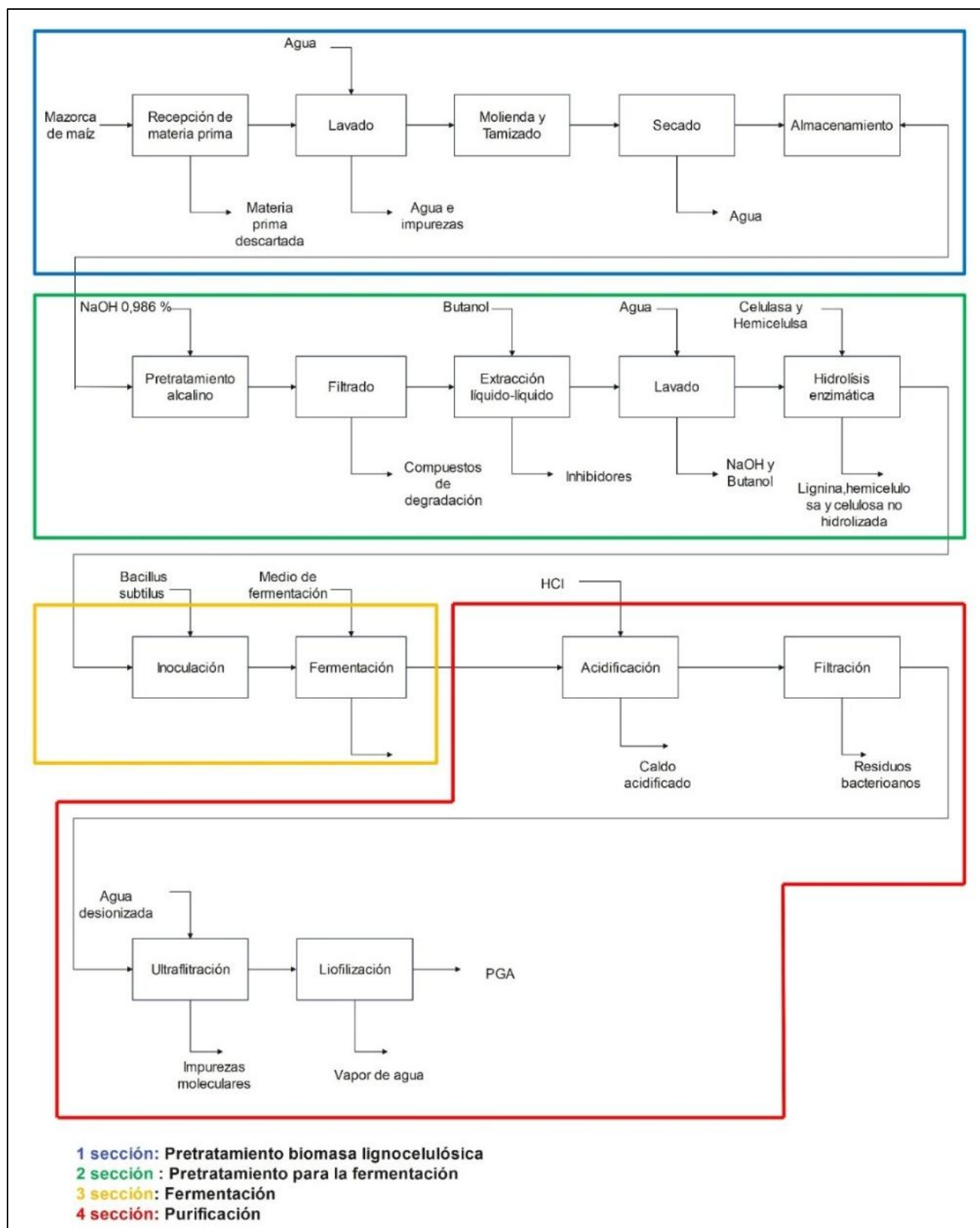


Figura A- 3 Diagrama de bloques pretratamiento con NaOH.

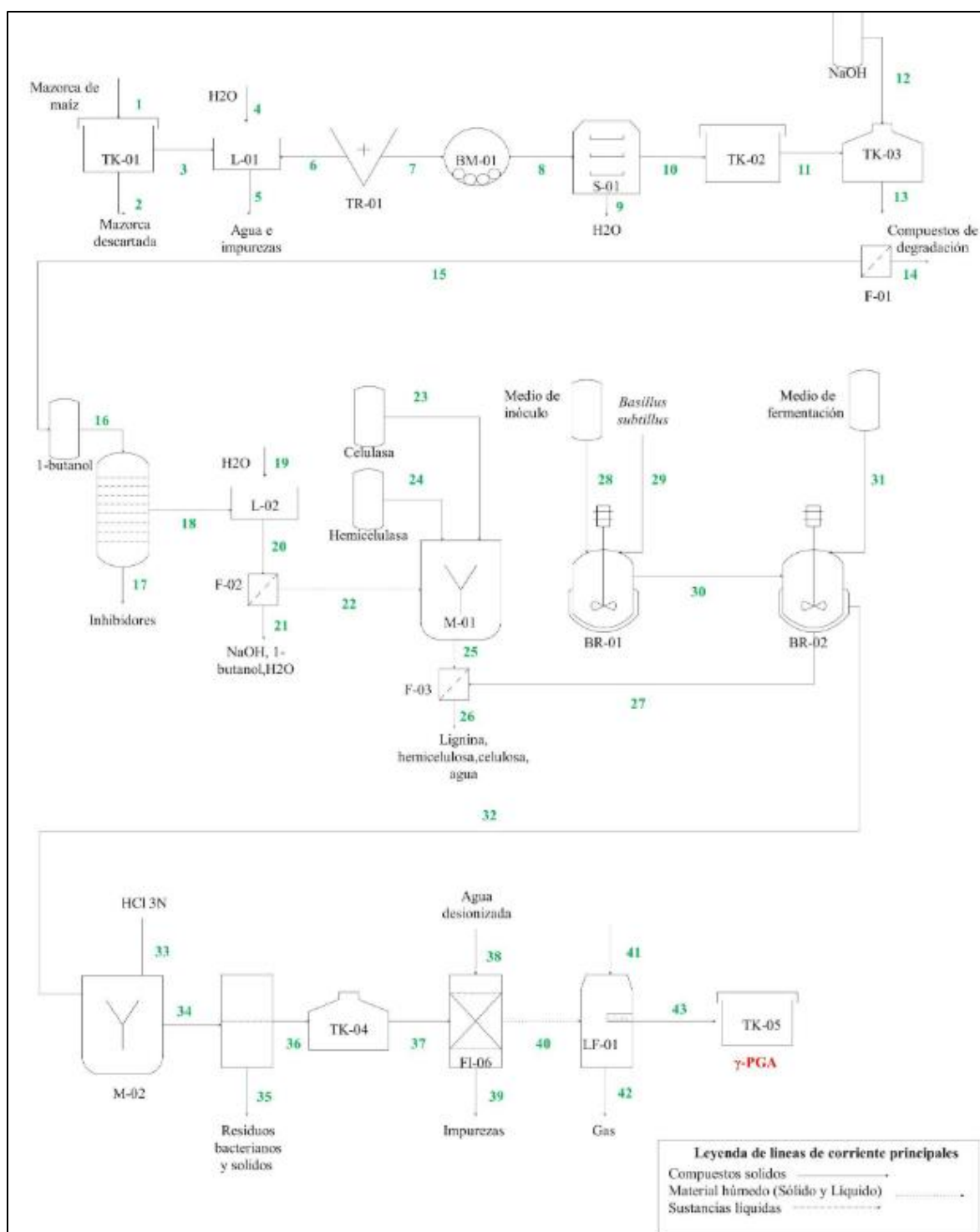


Figura A- 4 Diagrama de flujo pretratamiento con NaOH

ANEXO B: METODOLOGÍAS

8.2.1 Objetivo específico 1: Diseñar un proceso para la obtención de biopolímeros a partir de biomasa, que sea escalable a nivel industrial considerando la disponibilidad de materia prima local, la demanda potencial.

A. Identificación de los diferentes biopolímeros y sus rutas de producción

Tabla A- 4 Principales plásticos de origen biológico y sus rutas de producción.

Biopolímero	Microorganismo	Bioproceso	Aplicaciones	Precio en Alibaba (USD/kg)
PHA (Polihidroxialcanoatos)	<i>Ralstonia eutropha</i> , <i>Halomonas spp.</i> , <i>Escherichia coli</i>	Fermentación en medios ricos en carbono (glucosa, aceites vegetales) bajo condiciones limitadas de nitrógeno o fósforo	Biomédicas, Envases de cosméticos, botellas de champú, cubiertas para cartones y papeles, cartones y películas de leche, barreras de humedad en pañales y toallas sanitarias, bolígrafos, peines, balas y producción de productos químicos a granel utilizando PHA despolimerizado	\$3 - \$4.5
Levan	<i>Bacillus subtilis</i>	Fermentación en medios con sacarosa como fuente de carbono	Alimentarios, cosméticos (hidratante, antiirritante), materiales de recubrimiento, fármacos	\$2.5 - \$4
Poli-γ-glutámico (PGA)	<i>Bacillus subtilis</i>	Fermentación en medios con glutamato, donde el microorganismo secreta el biopolímero en el medio	Tratamiento de aguas, cosméticos, medicina (adhesivos, floclulantes), absorbente de metales pesados	\$2 - \$5
Pullulan	<i>Aureobasidium pullulans</i>	Fermentación en medios ricos en carbohidratos, seguida de purificación del polímero secretado	Películas comestibles, cápsulas farmacéuticas, recubrimientos alimentarios, adhesivos médicos	\$12 - \$18

Polilactida (PLA)	<i>Lactobacillus spp.</i> , <i>Escherichia coli</i>	Fermentación láctica (ácido láctico), seguida de polimerización química para formar PLA	Bioplásticos, empaques biodegradables, farmacéuticas, biológicas componentes médicos, electrodomésticos	\$2 - \$3
Bacterial Cellulose	<i>Gluconacetobacter xylinus</i>	Fermentación aeróbica en medios con glucosa, donde la bacteria produce celulosa como una película superficial	Recubrimientos, bases para películas fotográficas, filtros, productos farmacéuticos, fragancias, aditivos poliméricos, membranas y materiales de construcción	\$1.5 - \$4

I. Selección del mejor proceso para la producción de biopolímeros

Tabla A- 5 Evaluación Comparativa de Biopolímeros para Producción en Planta Piloto.

Biopolímero	Variedad de aplicaciones	Precio de venta	Costo materia prima	Ruta de producción	Impacto ambiental	Escalabilidad	Forma de degradación	Biocompatibilidad	Puntuación final
PHA	9	6	5	7	9	7	10	8	61
Levan	7	7	6	8	8	5	9	7	57
PGA	8	7	5	7	9	8	9	9	62
Pullulan	7	4	6	8	9	7	9	8	58
PLA	9	7	7	5	8	6	9	7	60
Bacterial Cellulose	7	6	7	7	9	7	10	8	61

Nota: En esta tabla se evaluaron diversos criterios utilizando una escala del 1 al 10, donde 10 representa la máxima factibilidad o idoneidad para la producción en una planta piloto, y 1 representa la mínima factibilidad. A continuación, se describe cada criterio evaluado:

1. Variedad de aplicaciones: Rango de usos potenciales del biopolímero en diferentes industrias y productos.
2. Precio de venta: Competitividad del precio en el mercado actual. Una puntuación más alta indica un precio más favorable para la comercialización.
3. Costo de materia prima: Accesibilidad económica y disponibilidad de los materiales necesarios para la producción. Una puntuación más alta refleja costos más bajos o mayor accesibilidad.
4. Ruta de producción: Eficiencia y complejidad del proceso de fabricación. Una puntuación más alta indica un proceso más simple o eficiente.
5. Impacto ambiental: Grado de sostenibilidad y respeto al medio ambiente durante la producción y el ciclo de vida del biopolímero.
6. Escalabilidad: Facilidad para incrementar la producción desde escala piloto a nivel industrial.
7. Biodegradabilidad y biocompatibilidad: Capacidad del material para descomponerse naturalmente y su compatibilidad con sistemas biológicos.
8. Formas de degradación: Diversidad y eficacia de los métodos por los cuales el biopolímero puede ser descompuesto o biodegradado.

II. Selección de la materia prima.

III. Condiciones de operación de cada proceso.

B. Definición del proceso más factible con un caudal de producción correspondiente.

I. Definir caudal de producción.

II. Identificar la demanda específica que se quiere cubrir

III. Identificar la unidad de producción que se quiere abordar.

IV. Identificar la cantidad de materia prima a utilizar.

C. Balance de masa y energía

I. Realizar un diagrama de bloque.

II. Simbología de corrientes composición y caudales.

III. Reconocer las variables incógnitas y conocidas para un análisis de grados de libertad.

IV. Establecer las ecuaciones de balance, basadas en las leyes de conservación de la masa y las especificaciones de diseño.

V. Resolver algebraicamente para determinar las incógnitas y soluciones del proceso.

La metodología para calcular la potencia de los equipos se realizó siguiendo una serie de pasos específicos, dependiendo del tipo de equipo y su función en el proceso. A continuación, se presentan los métodos para los principales equipos utilizados en la planta piloto.

Tanques de Almacenamiento (TK-01, TK-02, TK-03, TK-04)

Tipo de Potencia: Principalmente motriz si tienen agitadores.

Fórmula: $P = k \times n^3 \times D^5 \times \rho$

Donde:

- k = Coeficiente de agitación

- n = Velocidad de rotación (rps)

- D = Diámetro del impulsor (m)

- ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

Si el tanque no tiene agitación, la potencia es mínima o cero.

Balsa de Lavado (L-01)

Tipo de Potencia: hidráulica

Fórmula para agitación: Igual que el tanque de almacenamiento.

Fórmula para bombeo de agua: $P = (Q \times \Delta P) / \eta$

Donde:

- Q = Caudal volumétrico (m^3/s)

- ΔP = Presión de bombeo (Pa)

- η = Eficiencia de la bomba

Secador (DR-01)

Tipo de Potencia: Térmica.

Fórmula: $P = m \times C_p \times \Delta T$

Donde:

- m = Flujo másico (kg/s)

- C_p = Calor específico ($kJ/kg \cdot ^\circ C$)

- ΔT = Diferencia de temperatura ($^\circ C$)

Si hay cambio de fase: $Q_e = m \times \lambda$

Trituradora (TR-01) y Molino de Bolas (BM-01)

Tipo de Potencia: Mecánica.

Fórmula: $P = T \times \omega$

Donde:

- T = Torque ($N \cdot m$)
- ω = Velocidad angular (rad/s)

Tamiz (S-01)

Tipo de Potencia: Motriz (vibración o rotación).

Fórmula: $P = F \times v$

Donde:

- F = Fuerza de vibración (N)
- v = Velocidad de movimiento (m/s)

Centrifugadora (CF-01)

Tipo de Potencia: Centrífuga (motriz).

Fórmula: $P = (m \times r \times \omega^2) / \eta$

Donde:

- m = Masa de la muestra (kg)
- r = Radio del tambor (m)
- ω = Velocidad angular (rad/s)
- η = Eficiencia del motor

Biorreactores (BR-01 y BR-02)

Tipo de Potencia: Agitación y aireación.

Fórmula para agitación: $P = k \times n^3 \times D^5 \times \rho$

Fórmula para aireación: $P = \tilde{V} \times \Delta P$

Donde:

- $\tilde{V}$ = Volumen de aire (m^3/s)

- ΔP = Presión de aireación (Pa)

Liofilizador (LF-01)

Tipo de Potencia: Térmica y de vacío.

Fórmula para sublimación: $Q = m \times \lambda$

Potencia de bomba de vacío: $P = Q \times \Delta P$

Donde:

- m = Masa de agua evaporada (kg/s)

- λ = Calor de sublimación (kJ/kg)

D. Generación de diagrama de flujo.

- I.** Reconocer operaciones principales y auxiliares.
- II.** Hacer una lista de proceso.
- III.** Sistema de auxiliares necesarios.

8.2.2 Objetivo específico 2: Desarrollar el diseño preliminar de la planta piloto, incluyendo la selección y dimensionamiento de equipos.

A. Dimensionamiento de los equipos de la planta.

- I.** Selección de los equipos.
- II.** Determinar las operaciones unitarias del proceso.
- III.** Determinar los equipos necesarios de cada operación unitaria.

- IV.** Determinar los materiales de cada equipo. Se debe considerar un material que no se oxide, como es el acero inoxidable.

B. Dimensionar los equipos de cada operación unitaria:

A. Tanques de almacenamiento

1. Determinar la relación geométrica del tanque: Utilizar la proporción entre la altura (longitud) y el diámetro, donde $L = 2D$ L, para tanques cilíndricos.
2. Incluir un factor de seguridad: Incrementar la altura en un 20% para garantizar un margen de seguridad adicional en el diseño del tanque.
3. Calcular la presión de diseño del tanque: Aplicar las siguientes ecuaciones:

$$P_i = 1.1 \cdot P_o$$

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

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

Donde

P_i , Presión de diseño del tanque

P_o , Presión de operación.

P_g , Presión manométrica.

P_{atm} , Presión atmosférica.

P_h , Presión hidrostática.

ρ , Densidad del contenido del tanque.

g , Aceleración de la gravedad.

h , Altura del líquido en el tanque

4. Calcular el espesor de la pared del tanque: Con P_i determinar el espesor de las paredes mediante la fórmula:

$$tw = \frac{Pi \cdot Di}{2SE - 1.2 Pi} + 2mm$$

Donde

tw , Espesor de la pared del tanque.

Di , Diámetro interno del tanque.

S , Esfuerzo máximo permisible del material.

E , Eficiencia de la soldadura.

5. Una vez obtenida la información anterior se procede a calcular la masa del tanque con la siguiente ecuación

$$m = \pi \cdot D \cdot L \cdot \rho \cdot tw$$

Donde

D , Diámetro del tanque.

L , Longitud del tanque.

ρ , Densidad del acero inoxidable.

tw , Espesor de la pared del tanque.

6. A continuación, se procede a efectuar el cálculo correspondiente para determinar el espesor adecuado de los terminales del tanque, teniendo en cuenta los requisitos específicos de diseño, las condiciones de operación, y las normativas aplicables. Para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$tw = \frac{De \sqrt{C \cdot Pi}}{S \cdot E}$$

Donde

De , Diámetro interno del tanque.

C , Constante igual a 0.1.

P_i , Presión de diseño del tanque.

S , Esfuerzo máximo permisible.

E , Eficiencia de la soldadura.

7. Ahora bien, se tiene que realizar el cálculo de los terminales.

$$m = \pi \cdot D^2 \cdot \rho \cdot tw$$

Donde

D , Diámetro interno del tanque.

ρ , Densidad del acero inoxidable.

t_w , Espesor de la pared

Al obtener toda esta información se realiza una sumatoria de los valores de masa del tanque y también de los terminales.

B. Balsa de lavado

Identificar y seleccionar un equipo capaz de procesar, ya sea de forma total o parcial, la capacidad requerida para llevar a cabo esta operación de manera eficiente. Este proceso implica evaluar diferentes opciones tecnológicas disponibles en el mercado, considerando factores como el rendimiento del equipo, la adecuación a las necesidades específicas de la operación, los costos asociados.

C. Trituradora

Identificar y seleccionar un equipo capaz de procesar, ya sea de forma total o parcial, la capacidad requerida para llevar a cabo esta operación de manera eficiente. Este proceso implica evaluar diferentes opciones tecnológicas disponibles en el mercado, considerando factores como el rendimiento del equipo, la adecuación a las necesidades específicas de la operación, los costos asociados.

D. Molino de bolas

Identificar y seleccionar un equipo capaz de procesar, ya sea de forma total o parcial, la capacidad requerida para llevar a cabo esta operación de manera eficiente. Este proceso implica evaluar diferentes opciones tecnológicas disponibles en el mercado, considerando factores como el rendimiento del equipo, la adecuación a las necesidades específicas de la operación, los costos asociados.

E. Secador

1. Determinar el volumen total de las cáscaras de mazorca que serán procesadas durante esta operación.
2. Incorporar un margen de seguridad del 15% al volumen calculado para garantizar capacidad adicional.
3. Diseñar las dimensiones del horno secador utilizando una geometría rectangular, asegurando que cumpla con los requerimientos del proceso, para esto se usara la siguiente ecuación:

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

$$H = 2 \cdot P$$

$$A = 1.5 \cdot P$$

Donde

V , es el volumen total dado.

P, H y A representan las dimensiones del sistema (profundidad, altura y ancho, respectivamente).

F. Chaqueta térmica

Se necesita conocer cuál es el área, pero se estima que el grosor será de al menos 1% el área de esta, y para calcular el área se usa la siguiente ecuación:

$$A = 2\pi \cdot r \cdot 1.2$$

Donde

r , tanque radio

G. Tanque mezclador lavado etanol, hidrolisis enzimática, acidificación, preparación DES, pretratamiento DES.

Se sigue la metodología para el dimensionamiento de un tanque

$$Da = D_{tanque} \cdot 30\%$$

$$P = Np \cdot Da^5 \cdot N^3 \cdot \rho$$

Donde

Da , diámetro de tanque

P , Potencia agitador

Np , número de potencia (ver en Figura A-1)

Na , diámetro agitador

N , velocidad de rotación

ρ , densidad del contenido del tanque

Ahora bien, para la cacheta térmica se necesita conocer cuál es el área, además se estima que el grosor será de al menos 1% el área de esta, y para calcular el área se usa la siguiente ecuación:

$$A = 2\pi \cdot r \cdot 1.2$$

Donde

r , tanque radio

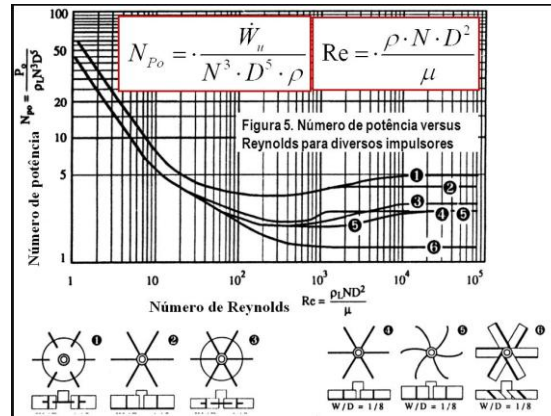


Figura A- 5 Curva de Valores del Número de Potencia (N_p) frente al Número de Reynolds (N_{Re}).

H. Biorreactores para la fermentación e inoculo.

- Cálculo del volumen de fermentación.
- Para el cálculo del volumen físico se toma un factor de seguridad del 20%.
- Utilizar la siguiente relación para el cálculo del diámetro y altura.

$$D_t = \frac{2}{3}h$$

Donde

D_t , diámetro del tanque y h es la altura

Con la relación anterior se reemplaza en la ecuación de volumen de un tanque

$$v_{físico} = \frac{\pi}{4} D_t^2 h$$

Para el biorreactor de fermentación se necesita calcular la agitación.

Con la siguiente ecuación se calcula el diámetro de agitación.

$$\frac{D_a}{D_t} = 0.333$$

Donde

D_a , diámetro de agitación

D_t , diámetro del tanque

Con el diámetro de agitación se calcula la altura de hoja de la turbina.

$$\frac{L}{D_a} = 0.25$$

Altura útil del agitador

$$S = \frac{2 \times D_t}{3}$$

Para el motor se debe calcular primero el número de Reynolds

$$Re = \frac{n \times D_a^2 \times \rho}{\mu}$$

La potencia se obtiene con la siguiente ecuación

$$P = KT \times n^3 \times D_a^5 \times \rho$$

Donde

P, Potencia necesaria para la agitación

KT, constante

ρ , densidad del líquido

D_a , diámetro de agitación

D_t , diámetro del tanque

El valor de KT se obtiene basándose en la imagen según el tipo de impulsor

Tabla A- 6 Tabla para constantes KL y KT para el cálculo de la potencia.

Tipo de impulsor	KL	KT
Hélice paso cuadrado, tres palas	41,0	0,32
Hélice paso de 2, tres palas	43,5	1,00
Turbina, seis palas planas	71,0	6,30
Turbina, seis palas curvas	70,0	4,80
Turbina de ventilador, seis palas	70,0	1,65
Turbina dos palas planas	36,5	1,70
Turbina cerrada, seis palas curvas	97,2	1,08

Se realiza el cálculo de la dimensión de los deflectores. Con la siguiente relación se calcula el diámetro de los deflectores

$$\frac{D_b}{D_t} = \frac{0.08}{1}$$

Para la distancia de separación entre la pared del reactor y los deflectores se calcula con la siguiente relación

$$\frac{f}{D_t} = 0.02$$

I. Centrifugador

Identificar y seleccionar un equipo capaz de procesar, ya sea de forma total o parcial, la capacidad requerida para llevar a cabo esta operación de manera eficiente. Este proceso implica evaluar diferentes opciones tecnológicas disponibles en el mercado, considerando factores como el rendimiento del equipo, la adecuación a las necesidades específicas de la operación, los costos asociados.

J. Filtros de prensa

Identificar un equipo adecuado para procesar la capacidad requerida en esta etapa de la operación, asegurando que cumpla con los criterios de eficiencia, confiabilidad y compatibilidad con el proceso

K. Equipo ultrafiltración

Identificar un equipo adecuado para procesar la capacidad requerida en esta etapa de la operación, asegurando que cumpla con los criterios de eficiencia, confiabilidad y compatibilidad con el proceso

L. Liofilizador

Seleccionar un liofilizador capaz de deshidratar productos sensibles al calor mediante el proceso de sublimación. Este equipo debe garantizar la preservación de

las propiedades físicas, químicas y funcionales del material procesado. Los criterios de selección incluirán capacidad de carga, rango de temperatura, presión operativa y eficiencia energética.

M. Bombas

Buscar una bomba que pueda transportar las sustancias líquidas (o mayormente líquidas) de un equipo a otro.

N. Cinta transportadora

Buscar una cinta que pueda transportar las sustancias sólidas de un equipo a otro.

O. Tornillo sin fin

Buscar un tornillo sin fin que pueda transportar las sustancias húmedas de un equipo a otro.

8.2.3 Objetivo específico 3: Realizar un análisis económico y de flexibilidad integral para evaluar la viabilidad y rentabilidad del proyecto.

A. Determinar el costo de cada equipo.

- I. Con las capacidades obtenidas por el dimensionamiento de cada equipo buscar empresas que fabriquen los equipos del proceso y estableces sus costos de venta.

B. Realizar la estimación de costos según los factores de Lang. [33]

- I. Se utiliza la formula $C = F \sum Ce$.
- II. Determinar el factor de Lang según el procesamiento.
 - F=3 Procesamiento sólido.

- F=5 Procesamiento fluidos.
- F=4 Procesamiento mixto.

- III. Obtener el costo de cada equipo con: $Ce = a + bs^n$.
- IV. Sumar el costo de cada equipo y multiplicar con el factor de Lang.

Realizar la estimación de costos según los factores de Hand.

- I. Determinar la capacidad de cada equipo.
- II. Obtener el costo de cada equipo con: $Ce = a + bs^n$.
- III. Tomar en cuenta el factor de material.
- IV. Tomar en cuenta el factor de instalación de Hand dependiendo del tipo del equipo.
- V. Para obtener el costo total de cada equipo se debe multiplicar el costo por el factor de material y el factor de Lang.
- VI. Sumar el costo de cada equipo para obtener el costo total de la planta.

C. Realizar la estimación de costos según el método factorial detallado.

- I. Determinar la capacidad de cada equipo.
- II. Obtener el costo de cada equipo con $Ce = a + bs^n$.
- III. Tomar en cuenta el factor de material.
- IV. Determinar el tipo de procesamiento si es líquido, sólido o mixto.
- V. Determinar los valores de los factores de: tuberías, montado de quipo, eléctrico, civil, instrumento de control y aislamiento.
- VI. Para obtener el costo total de cada quipo multiplicar el costo por el factor de material y los factores de instalación de cada equipo.
 - Fórmula para obtener el costo de la planta.

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

VII. Para determinar el costo total de la planta se debe sumar el costo de cada equipo.

D. Con el costo total de la planta obtenido con el método factorial detallado se obtiene el costo ISBL.

E. El costo OSBL se obtiene del 40% del ISBL.

F. El costo del gasto de imprevisto es el 10% del (ISBL+OSBL).

G. El costo del capital de trabajo es el 5% del capital fijo que es ISBL+OSBL.

H. Obtener el costo de producción.

I. Obtener el costo de producción variable considerando el costo de materia prima, servicios de agua potable y de electricidad, transporte y envasado del producto final.

II. Obtener el costo de producción fijo, se toma en cuenta:

- Labor operación.
- Supervisión que es el 25% costo de operación + administración.
- Gastos salariales que es el 50% costo de operación + administración.
- Mantenimiento que es 3 – 5% ISBL.
- Impuestos sobre la propiedad que el 1 – 2% ISBL.
- Alquiler de tierra que es 1 – 2% ISBL + OSBL.
- Gastos generales que es el 65% costo operación + administración.
- Gastos medio ambientales que es el 1% ISBL + OSBL.
- Costo por licencia de funcionamiento.
- Gastos del capital que es el pago de intereses por préstamos.

I. Obtener los ingresos de la planta.

I. Obtener el margen del producto bruto que es la suma de los ingresos por la venta del producto.

- II. Obtener el costo en efectivo por producción que es la suma del costo variable y el costo fijo.
 - III. Obtener el beneficio bruto que es el ingreso por venta del producto principal – costo en efectivo de producción.
 - IV. Obtener el beneficio neto que es el beneficio bruto – impuestos.
- J.** Realizar el análisis de recuperación del capital.
- I. Con el costo de inversión total de planta obtener el tiempo de recuperación del capital con la siguiente formula:

$$T_{recuperación} = \frac{\textit{inversion inicial}}{\textit{flujo de caja neto anual promedio}}$$

- II. Con el tiempo de recuperación se puede observar desde que año se puede obtener una ganancia total por el producto.
- III. Determinar si el proyecto es viable o no.

ANEXO C: MARCO LEGAL

8.3.1 Leyes

- Constitución de la República del Ecuador, publicada en el R.O. No 449 - octubre 20, 2008.
- Codificación de la Ley de Gestión Ambiental, publicada en el R.O. No 418 – septiembre 10, 2004.
- Acuerdo Ministerial 103 (Instructivo al Reglamento de los Mecanismo de Participación Social establecido en el Decreto ejecutivo No.1040 Registro Oficial No.332 del 8/05/2008), Registro Oficial No. 36 noviembre, 2015
- Acuerdo Ministerial 069(Instructivo para la calificación y registro de consultores ambientales a nivel nacional), Registro Oficial No. 36- Julio 15, 2013.
- Acuerdo Ministerial 061 (Derogatoria al catálogo de Categorización Ambiental Nacional según AM 068 y 006. Adicionalmente suprime los Anexos: I, II, III, IV y los Anexos 1, 2, 3,4 del Acuerdo Ministerial 068, sustituyéndolos por los incluidos en esta reforma. R.O. mayo 6 del 2015.
- Acuerdo Ministerial 026 (Procedimiento para Registro de Generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos) Registro Oficial No 334 – mayo 12, 2008.
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2-266:2013, “Transporte, almacenamiento, manejo de productos peligrosos”
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3864-1:2013 2013-05 “Símbolos Gráficos, Colores de Seguridad y Señales de Seguridad.
- Ley de Gestión Ambiental. Ley N° 37, Registro Oficial No 245, 30 de Julio de 1999.
- Ley de Recursos Hídricos. Usos y aprovechamiento del agua. Registro Oficial No 335 del 06 de agosto del 2014.

- Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, Registro Oficial No. 418 – septiembre 10, 2004
- Ley Orgánica de Salud, Registro Oficial No 423 – diciembre 22 del 2006.
- Decreto Ejecutivo 1040 (Reglamento de aplicación de los mecanismos de Participación Social establecidos en la Ley de Gestión Ambiental), Registro Oficial No 332 – mayo 8, 2008. Texto Unificado de Legislación Secundaria Ambiental. TULSMA Registro Oficial No 725, 31 de marzo del 2003.
- Decreto Ejecutivo 1215 (Reglamento Sustitutivo al Reglamento Ambiental de las Operaciones Hidrocarburíferas del Ecuador), Registro Oficial No. 265 – febrero 13, 2001
- Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo. Decreto 2393 del Ministerio de Relaciones Laborales.
- Reglamento general del Seguro de Riesgos de Trabajo, Resolución No C.D. 390 del Consejo Superior del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social de noviembre 10 del 2011.
- Resolución 957: Reglamento del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo, septiembre 2005.

ANEXO D: CÁLCULOS Y RESULTADOS

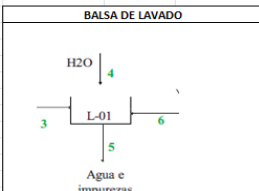
8.4.1 Pérdidas de masa en operaciones unitarias

Tabla A- 7 Pérdidas consideradas para los equipos en el balance de masa.

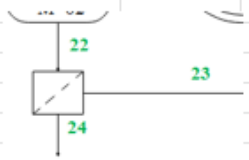
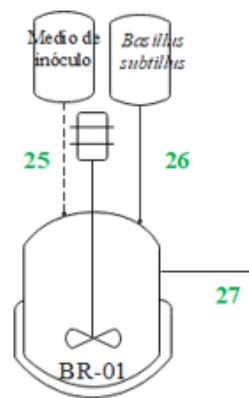
Equipo	Pérdida (%)
Triturador	1.07%
Molienda	0.94%
Filtros de prensa	1.00%
Balsa de lavado	2.00%
Filtro de placas y marcos	2.00%

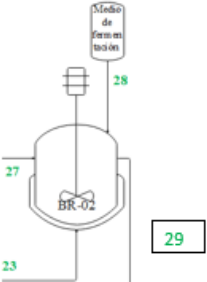
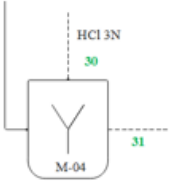
8.4.2 Balance de masa de la planta

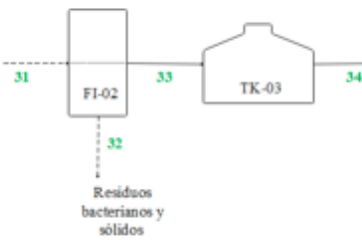
Tabla A- 8 Balance de masa para un ciclo de producción.

TANQUE DE ALMACENAMIENTO		BALANCE DE MASA PRODUCCION POR CICLOS PGA								
		93 ciclos anuales Produccion de PGA por ciclo: 54 kg								
		F1, kg	514.12							
		F2, kg	128.53							
		F3, kg	385.59							
Considero 2,5 veces más masa de agua que la materia a lav										
BALSA DE LAVADO		F3, kg	385.59	Tipo	Componente	F4	F3	F5	F6	
		% Desperdicio	2	Masa, kg	Agua	963.975	0.00	19.28	944.70	
		F4, kg	963.98			Mazorca Sec	0	385.59	7.71	377.88
		W3, H2O	0.225			Agua	1	0.00	0.71	0.71
		W6, H2O	0.3			Mazorca Sec	0	1.00	0.29	0.29
		F5, kg	26.99							
		F6, kg	1322.57							

REACTOR PRETRATAMIENTO DES 15 14 16 R-02 Composicion biomasa: Celulosa = 43.90% Hemicelulosa = 28.90%Lignina = 21.80% Otros = 5.40%		<table><tr><td>F 14, kg</td><td>5.48</td></tr><tr><td>F15, kg</td><td>342.55</td></tr><tr><td>F16, kg</td><td>348.03</td></tr></table>	F 14, kg	5.48	F15, kg	342.55	F16, kg	348.03	<table><tr><th>Tipo</th><th>Componente</th><th>F14</th><th>F15</th><th>F16</th></tr><tr><td rowspan="6">Masa, kg</td><td>Celulosa</td><td>0</td><td>150.38</td><td>150.38</td></tr><tr><td>Hemicelulosa</td><td>0</td><td>99.00</td><td>99.00</td></tr><tr><td>Lignina</td><td>0</td><td>74.675</td><td>74.675</td></tr><tr><td>Otros</td><td>0</td><td>18.498</td><td>18.498</td></tr><tr><td>Cloruro de colina (ChCl)</td><td>1.64</td><td>0</td><td>1.64</td></tr><tr><td>Imidazol</td><td>3.84</td><td>0</td><td>3.84</td></tr><tr><td rowspan="6">%m/m</td><td>Celulosa</td><td>0</td><td>0.439</td><td>0.43</td></tr><tr><td>Hemicelulosa</td><td>0</td><td>0.289</td><td>0.28</td></tr><tr><td>Lignina</td><td>0</td><td>0.218</td><td>0.21</td></tr><tr><td>Otros</td><td>0</td><td>0.54</td><td>0.05</td></tr><tr><td>Cloruro de colina (ChCl)</td><td>0.300</td><td>0</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Imidazol</td><td>0.700</td><td>0</td><td>0.01</td></tr></table>	Tipo	Componente	F14	F15	F16	Masa, kg	Celulosa	0	150.38	150.38	Hemicelulosa	0	99.00	99.00	Lignina	0	74.675	74.675	Otros	0	18.498	18.498	Cloruro de colina (ChCl)	1.64	0	1.64	Imidazol	3.84	0	3.84	%m/m	Celulosa	0	0.439	0.43	Hemicelulosa	0	0.289	0.28	Lignina	0	0.218	0.21	Otros	0	0.54	0.05	Cloruro de colina (ChCl)	0.300	0	0.00	Imidazol	0.700	0	0.01
F 14, kg	5.48																																																															
F15, kg	342.55																																																															
F16, kg	348.03																																																															
Tipo	Componente	F14	F15	F16																																																												
Masa, kg	Celulosa	0	150.38	150.38																																																												
	Hemicelulosa	0	99.00	99.00																																																												
	Lignina	0	74.675	74.675																																																												
	Otros	0	18.498	18.498																																																												
	Cloruro de colina (ChCl)	1.64	0	1.64																																																												
	Imidazol	3.84	0	3.84																																																												
%m/m	Celulosa	0	0.439	0.43																																																												
	Hemicelulosa	0	0.289	0.28																																																												
	Lignina	0	0.218	0.21																																																												
	Otros	0	0.54	0.05																																																												
	Cloruro de colina (ChCl)	0.300	0	0.00																																																												
	Imidazol	0.700	0	0.01																																																												
TANQUE LAVADO ETANOL 17 Etanol 16 18 M -02 Según literatura técnica y procesos similares de extracción/lavado con solventes, se usa 4:1 kg de etanol por kg de		<table><tr><td>F16, kg</td><td>348.03</td></tr><tr><td>F17, kg</td><td>1370.19</td></tr><tr><td>F18,kg</td><td>1597.94</td></tr><tr><td>% retencion</td><td>7</td></tr></table>	F16, kg	348.03	F17, kg	1370.19	F18,kg	1597.94	% retencion	7																																																						
F16, kg	348.03																																																															
F17, kg	1370.19																																																															
F18,kg	1597.94																																																															
% retencion	7																																																															

FILTRO DE PRENSA  % eliminación de agua	95	Tipo	Componente	F22	F23	F24		
		Masa, kg	Celulosa	23.60	1.17988925	22.41789569		
			Lignina	0.00	0	0		
			Hemicelulosa	2.56	0.12800905	2.432171946		
			Glucosa	126.78	120.441244	6.339012816		
			Otros comp.	0.00	0	0		
			Enzima	22.30	1.115	21.185		
			Xilosa	4.34	0.21699095	4.122828054		
			Total	4024.87	123.081133	56.49690851		
			Celulosa	0.006	0.00958627	0.396798626		
			Lignina	0.000	0	0		
			Hemicelulosa	0.001	0.00104004	0.043049647		
			Glucosa	0.031	0.97855163	0.112201056		
			Otros comp.	0.000	0	0		
			Enzima	0.006	0.00905907	0.37497627		
			Xilosa	0.001	0.00176299	0.072974401		
			%m/m	Total	1	1	1	
BIORREACTOR DE INÓCULO  Proporcion de inoculacion 5%v/v Basado en el artículo: Se inoculan 350 mL de cultivo de semillas en 7 L de medio de fermentación.		Tipo	Medio	Componente	Conc. (g/L)	F25	F26	F27
		Masa,kg		Agua	0	86.4	0	86.4
				Glucosa	10	1.51	0.00	1.51
				Extracto de	5	0.75	0.00	0.75
				L-Glutamato	5	0.75	0.00	0.75
				KH ₂ PO ₄	0.5	0.08	0.00	0.08
				MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.1	0.02	0.00	0.02
				Basillus subtilus	2.5	0.00	0.38	0.40
			Total			89.50	0.38	89.90
				Agua	0	0.97	0.00	0.96
				Glucosa	10	0.017	0.000	0.017
				Extracto de levadura	5	0.008	0.000	0.008
				L-Glutamato	5	0.008	0.000	0.008
				KH ₂ PO ₄	0.5	0.001	0.000	0.001
				MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.1	0.000	0.000	0.000
			%m/m	Total	Ninguno	0	1.000	1.000
			Proporcion inoculacion		0.05			
			Volumen medio de fermentacion		3011.03 L			
			Volumen inoculo		150.55 L			

BIORREACTOR DE FERMENTACIÓN		Tipo		Componente	Concentracíon (g/L)	F23	F27	F28	F29	
		Masa, kg	Glucosa	40	120.441244	0.00	0.00	114.42		
			Extracto de levadura	2.5	0	0.00	7.53	7.53		
			L-Glutamato	30	0	0.00	90.33	90.33		
			KH ₂ PO ₄	0.5	0	0.00	1.51	1.51		
			MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.1	0	0.00	0.30	0.30		
			Antiespumante	0.3 mL/L	0	0.00	0.90	0.90		
			Medio de inóculo + Basillus	0	0	89.90	89.90	89.90		
			Medio de fermentación	0	0	0.00	100.57	100.57		
			PGA	0	0	0.00	0.00	99.97	PGA Bruto	
			Total	0	120.44	89.90	291.04	505.42		
Conversión de glucosa en PGA		%m/m	Glucosa	0	1	0.000	0.000	0.226		
			Extracto de levadura	0	0	0.000	0.026	0.015		
			L-Glutamato	0	0	0.000	0.310	0.179		
			KH ₂ PO ₄	0	0	0.000	0.005	0.003		
			MgSO ₄ ·7H ₂ O	0	0	0.000	0.001	0.001		
			Antiespumante	0	0	0.000	0.003	0.002		
			Medio de fermentación	0	0	0.000	0.346	0.199		
			PGA	0	0	0.000	0.000	0.198		
			Total	0	1	1.000	1.000	1.000		
			proceso. Rendimiento de fermentación: 0.83 g PGA / g glucosa. Concentración de PGA esperada: 25 g/L. Tasa de recuperación de PGA: 55%. Concentración de PGA esperada: 25 g/L. La concentración de glucosa en el medio de fermentación es 40 g/L. se usa un cultivo		TANQUE MEZCLADOR DE ACID.		Tipo		Componente	F29
		Masa, ton/año	Agua	2437.47	0.00	2437.47	NEUTRALIZAN	Producen NaCl+ H2O		
			Glucosa	120.44	0.00	120.44				
			Medio de inóculo + Basillus	89.90	0.00	89.90				
			Medio de fermentación	100.57	0.00	100.57				
			HCl 3N	0.00	59.98	59.98				
			PGA	99.97	0.00	99.97				
			Total	2848.35	59.98	2908.33				
todo el medio de fermentación volumen caldo		%m/m	Agua	0.856	0.000	0.838				
			Glucosa	0.042	0.000	0.041				
			Medio de inóculo + Basillus	0.032	0.000	0.031				
			Medio de fermentación	0.035	0.000	0.035				
			HCl 3N	0.000	1.000	0.021				
			PGA	0.035	0.000	0.034				
			Total	1.000	1.000	1.000				

FILTRO DE PLACAS Y MARCOS	
	
Agua que se elimina, %	20

Tipo	Componente	F31	F32	F33	F34
Masa, kg	Agua	2437.47	487.49	2030.25	2030.25
	Glucosa	120.44	0.00	120.44	120.44
	Medio de inóculo + Basillus	89.90	89.90	0.00	0.00
	NaCl + Agua	160.55	80.27	0.00	0.00
	PGA	99.97	0.00	99.97	99.97
	Total	2908.33	657.67	2250.66	2250.66
%m/m	Agua	0.838	0.741	0.902	0.90
	Glucosa	0.041	0.000	0.054	0.05
	Medio de inóculo + Basillus	0.031	0.137	0.000	0.00
	NaCl + Agua	0.055	0.122	0.000	0.00
	PGA	0.034	0.000	0.044	0.04
	Total	1.000	1.000	1.000	1.00

| ULTRAFILTRACIÓN | |
| | |

Tipo	Componente	F34	F35	F36	F37
Masa, kg	Agua	2030.25	5626.65	7555.39	101.51
	Glucosa	120.44	0.00	120.44	0.00
	Medio de inóculo + Basillus	0.00	0.00	0.00	0.00
	NaCl + Agua	0.00	0.00	0.00	0.00
	PGA	99.97	0.00	99.97	99.97
	Total	2250.66	5626.65	7775.80	201.48
%m/m	Agua	0.902	1.000	0.972	0.504
	Glucosa	0.054	0.000	0.015	0.000
	Medio de inóculo + Basillus	0.000	0.000	0.000	0.000
	NaCl + Agua	0.000	0.000	0.000	0.000
	PGA	0.044	0.000	0.013	0.496
	Total	1.000	1.000	1.000	1.00

Cosidero 2,5 veces más masa de agua que la alimentación 37	
El agua que ingresa, sale como impureza en un 95%	
El PGA que se obtiene es el 71,3% del ingreso de PGA . El resto se va con el aire	

8.4.3 Dimensionamiento tanque TK-01

Tabla A- 9 Dimensionamiento tanque TK-01.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	514.12	kg
	Densidad mazorca de maíz	547.88	kg/m ³
	Volumen total del tanque	0.94	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	0.84	m
	Altura	1.68	m
	Altura (+20%)	2.02	m
	Volumen total del tanque	1.13	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	10,863.89	Pa
	Presión de operación (Po)	112,188.89	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.123407781	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coeficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.42	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.42	mm
	Espesor final de la pared	0.0024	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	102.59	kg
	Plana pared (tw)	8.40	mm
	Masa de los terminales	5,947.50	kg
	Masa total	6,050.09	kg

8.4.4 Dimensionamiento tanque TK-02

Tabla A- 10 Dimensionamiento tanque TK-02.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	342.55	kg
	Densidad de mazorca de maíz/agua	547.88	kg/m ³
	Volumen total del tanque	0.63	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	0.74	m
	Altura	1.47	m
	Altura (+20%)	1.77	m
	Volumen total del tanque	0.75	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	9,488.67	Pa
	Presión de operación (Po)	110,813.67	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.12	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.90	N/mm ²
	Coeficiente de eficiencia (E)	0.90	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.36	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.36	mm
	Espesor final de la pared	0.0024	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	76.40	kg
	Plana pared (tw)	7.29	mm
	Masa de los terminales	17	kg
	Masa total	93.16	kg

8.4.5 Dimensionamiento tanque TK-03

Tabla A- 11 Dimensionamiento tanque TK-03.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	2,250.66	kg
	Densidad total	1035.40	kg/m ³
	Volumen de la mezcla	2.17	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	1.11	m
	Altura	2.23	m
	Altura (+20%)	2.67	m
	Volumen total del tanque	2.61	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	27,165.37	Pa
	Presión de operación (Po)	128,490.37	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.14	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coefficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.63	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.63	mm
	Espesor final de la pared	0.0026	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	195.64	kg
	Plana pared (tw)	11.89	mm
	Masa de los terminales	62.75	kg
	Masa total	258.39	kg

8.4.6 Dimensionamiento tanque TK-04

Tabla A- 12 Dimensionamiento tanque TK-04.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	54.98	kg
	Densidad total	1530.00	kg/m ³
	Volumen de la mezcla	0.04	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	0.28	m
	Altura	0.57	m
	Altura (+20%)	0.68	m
	Volumen total del tanque	0.04	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	10,225.93	Pa
	Presión de operación (Po)	111,550.93	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.12	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coeficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.14	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.14	mm
	Espesor final de la pared	0.0021	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	10.31	kg
	Plana pared (tw)	2.82	mm
	Masa de los terminales	0.97	kg
	Masa total	11.28	kg

8.4.7 Mezclador lavado etanol

Tabla A- 13 Dimensionamiento mezclador lavado etanol.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	1,718.22	kg
	Densidad corriente	724.30	kg/m ³
	Volumen total del tanque	2.37	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	1.15	m
	Altura	2.29	m
	Altura (+20%)	2.75	m
	Volumen total del tanque	2.85	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	19,564.96	Pa
	Presión de operación (Po)	120,889.96	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.132978951	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coefficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.62	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.62	mm
	Espesor final de la pared	0.0026	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	205.81	kg
	Plana pared (tw)	11.88	mm
	Masa de los terminales	5,947.50	kg
	Masa total	6,153.31	kg
Agitador	Diámetro	0.34	m
	Potencia	101.12	KW
Chaqueta térmica	Área	4.33	m ²
	Grosor	0.0433	m

8.4.8 Mezclador hidrólisis

Tabla A- 14 Dimensionamiento mezclador hidrólisis.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	5,113.35	kg
	Densidad corriente	1037.10	kg/m ³
	Volumen total del tanque	4.93	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	1.46	m
	Altura	2.93	m
	Altura (+20%)	3.51	m
	Volumen total del tanque	5.92	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	35,751.08	Pa
	Presión de operación (Po)	137,076.08	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.150783693	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coefficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.89	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.89	mm
	Espesor final de la pared	0.0029	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	370.44	kg
	Plana pared (tw)	16.14	mm
	Masa de los terminales	5,947.50	kg
	Masa total	6,317.94	kg
Agitador	Diámetro	0.44	m
	Potencia	490.09	KW
Chaqueta térmica	Área	5.52	m ²
	Grosor	0.0552	m

8.4.9 Mezclador acidificación

Tabla A- 15 Dimensionamiento mezclador acidificación.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	2,908.33	kg
	Densidad corriente	1010.50	kg/m ³
	Volumen total del tanque	2.88	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	1.22	m
	Altura	2.45	m
	Altura (+20%)	2.94	m
	Volumen total del tanque	3.45	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	29,112.47	Pa
	Presión de operación (Po)	130,437.47	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.143481218	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coeficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.71	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.71	mm
	Espesor final de la pared	0.0027	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	242.43	kg
	Plana pared (tw)	13.16	mm
	Masa de los terminales	5,947.50	kg
	Masa total	6,189.93	kg
Agitador	Diámetro	0.37	m
	Potencia	194.70	KW
Chaqueta térmica	Área	4.61	m ²
	Grosor	0.0461	m

8.4.10 Tanque mezcla DES

Tabla A- 16 Dimensionamiento tanque mezcla DES.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	5.48	kg
	Densidad corriente	1074.50	kg/m ³
	Volumen total del tanque	0.01	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	0.15	m
	Altura	0.30	m
	Altura (+20%)	0.36	m
	Volumen total del tanque	0.01	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	3,746.03	Pa
	Presión de operación (Po)	105,071.03	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.115578135	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coeficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.07	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.07	mm
	Espesor final de la pared	0.0021	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	2.71	kg
	Plana pared (tw)	1.43	mm
	Masa de los terminales	5,947.50	kg
	Masa total	5,950.21	kg
Agitador	Diámetro	0.04	m
	Potencia	0.01	KW
Chaqueta térmica	Área	0.56	m ²
	Grosor	0.0056	m

8.4.11 Biorreactor -01

Tabla A- 17 Dimensionamiento Biorreactor -01.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	348.03	kg
	Densidad corriente	552.02	kg/m ³
	Volumen total del tanque	0.63	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	0.74	m
	Altura	1.48	m
	Altura (+20%)	1.77	m
	Volumen total del tanque	0.76	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	9,586.99	Pa
	Presión de operación (Po)	110,911.99	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.122003192	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coeficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.36	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.36	mm
	Espesor final de la pared	0.0024	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	76.87	kg
	Plana pared (tw)	7.31	mm
	Masa de los terminales	5,947.50	kg
	Masa total	6,024.37	kg
Agitador	Diámetro	0.22	m
	Potencia	84.66	KW
Chaqueta térmica	Área	2.78	m ²
	Grosor	0.0278	m

8.4.12 Biorreactor inóculo

Tabla A- 18 Dimensionamiento Biorreactor inóculo.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	150.88	kg
	Densidad corriente	1030.00	kg/m ³
	Volumen total del tanque	0.15	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	0.45	m
	Altura	0.91	m
	Altura (+20%)	1.09	m
	Volumen total del tanque	0.18	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	10,997.04	Pa
	Presión de operación (Po)	112,322.04	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.12355424	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coefficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.23	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.23	mm
	Espesor final de la pared	0.0022	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	27.37	kg
	Plana pared (tw)	4.52	mm
	Masa de los terminales	5,947.50	kg
	Masa total	5,974.87	kg
Agitador	Diámetro	0.15	m
	Altura de la hoja de turbina	0.03	m
	Anchura de la hoja de turbina	0.04	m
	Distancia entre el agitador y la base del biorreactor	0.15	m
	Altura útil del agitador	0.30	m
	Reynolds	78050.42	
	Potencia	14.34	KW

8.4.13 Biorreactor fermentación

Tabla A- 19 Dimensionamiento Biorreactor fermentación.

Categoría	Parámetro	Valor	Unidad
Datos Generales	Masa de alimentación	4,396.30	kg
	Densidad corriente	1780.36	kg/m ³
	Volumen total del tanque	2.47	m ³
Dimensiones del Tanque	Diámetro	1.16	m
	Altura	2.33	m
	Altura (+20%)	2.79	m
	Volumen total del tanque	2.96	m ³
Cálculo de la Presión de Diseño	Presión manométrica (Pg)	48,738.78	Pa
	Presión de operación (Po)	150,063.78	Pa
	Presión de diseño (Pi)	0.165070153	N/mm ²
Espesor de la Pared	Esfuerzo admisible (S)	137.9	N/mm ²
	Coefficiente de eficiencia (E)	0.9	-
	Espesor de pared calculado (tw)	0.77	mm
	Margen adicional (+2 mm)	2.77	mm
	Espesor final de la pared	0.0028	m
Masa del Tanque y Terminales	Densidad del material (Acero inoxidable 304)	7,930	kg/m ³
	Masa del tanque	224.23	kg
	Plana pared (tw)	13.41	mm
	Masa de los terminales	5,947.50	kg
	Masa total	6,171.73	kg
Agitador	Diámetro	0.39	m
	Altura de la hoja de turbina	0.08	m
	Anchura de la hoja de turbina	0.10	m
	Distancia entre el agitador y la base del biorreactor	0.39	m
	Altura útil del agitador	0.78	m
	Reynolds	78214.33	
	Potencia	2746.22	KW

8.4.14 Secador

Tabla A- 20 Dimensionamiento Secador.

Parámetro	Valor	Unidad
Masa de alimentación	1,322.57	kg
Densidad de mazorca de maíz	450	kg/m ³
Volumen	2.94	m ³
Volumen (+15%)	3.38	m ³
Largo	0.376	m
Ancho	0.563	m
Altura	0.751	m
Área	0.563	m ²

ANEXO E: COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS

8.5.1 Balsa de lavado

Figura A- 6 Cotización para balsa de lavado.

Full Automatic Vegetable Fruit Sorting Cutting Washing Drying Processing Line Fruit Vegetable Washer Processing Machines

No reviews yet

Saidashi Machinery (henan) Co., Ltd. · 1 yr · CN



Other recommendations for your business



Minimum order quantity: 1 set
\$1,200.00-6,000.00

Variations [Select now](#)

model number(3)

SDS-GPPL-50 SDS-GPPL-300 SDS-GPPL-500

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

[Send inquiry](#) [Chat now](#)

3 interest-free payments with [PayPal](#) [Alipay](#)

Protections for this product

☒ **Secure payments**
Every payment you make on Alibaba.com is secured with strict SSL encryption and PCI DSS data protection protocols

☒ **Standard refund policy**
Claim a refund if your order doesn't ship, is missing, or arrives with product issues

☒ **1-year warranty**
Access to free parts replacement and repair coverage

Alibaba.com protects all your orders placed and paid on the platform with [Trade Assurance](#)

core components	Bearing, Engine, Gear, motor, PLC, Pump
model number	QX-600/800/1000/2000
place of origin	Shandong, China
weight	512
warranty	1 Year
key selling points	Automatic
video outgoing-inspection	Provided
machinery test report	Provided
brand name	Innovaster
voltage	380v
dimension(l*w*h)	6000*1400*2400
Function	Water Washing Machine
Application scope	Beverage Shops
Name	Vegetables and Fruits Washer
Material	SUS 304
COLOR	Silver
Advantage	Water Recycle
Feature	High Efficiency Easy Operate
Use	Cleaning fruits and vegetables
MOQ	1 Set
PACKAGE	Standard Wooden Case

8.5.2 Secador

Figura A- 7 Cotización para horno secador.

Industrial Large Scale 1000-2000kg Heat Pump PLC Fruit Dehydrator Vegetable Drying Machine mango Dryer Fruit Dryer Machine

No reviews yet · 1 sold

Henan Jiude Intelligent Equipment Co., Ltd. · 4 yrs · CN

Customizable

1 - 2 sets \$4,799.00 3 - 4 sets \$4,599.00 >= 5 sets \$4,399.00

Variations [Select now](#)

model number(1)

JDZN-XC-C/S-7

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

[Send inquiry](#) [Chat now](#)

3 interest-free payments with

Protections for this product [>](#)

☒ **Secure payments**

Every payment you make on Alihaha.com is secured

core components	PLC, motor, Pump
place of origin	Henan, China
weight	1500
warranty	1 Year
video outgoing-inspection	Provided
machinery test report	Provided
type	fruit/Food/vegetable processing machinery
voltage	380v/220v/415v/customized
power(w)	7P
dimension(l*w*h)	5300mm*3200mm*2700mm
Product name	fruit/vegetable/food dryer machine
Control system	PLC touch screen
Suitable for	Vegetable Fruit Processing Plant
Heating source	Heat Pump+ Electricity+Air
Temperature range	35 ~75 (95 ~170) adjustable
Voltage	380v/220v/415v/customized
Capacity	500kg-2000kg/batch
Material	304 Stainless Steel/ 316 stainless steel
After Warranty Service	Overseas installation service support/Video Technical Online Support
Advantage	Low Consumption High Efficiency

8.5.3 Trituradora

Figura A- 8 Cotización para trituradora.

Industrial Machinery > Food & Beverage Machinery > Grain Processing Machinery > Flour Mill

300-400kg/h 9FQ -360 Industrial Corn Grinder Corn Cob Crusher Machine Maize Corn Grinding Machine Price

No reviews yet


Zhengzhou Taizy Trading Co., Ltd. · Verified Multispecialty supplier · 13 yrs ·  CN













1 - 2 sets

\$600.00

3 - 4 sets

\$450.00

5 - 7 sets

\$315.00

>= 8 sets

\$285.00

Variations

model number(1)

9FQ -360

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

Send Inquiry

Chat now

3 interest-free payments with  PayPal 

Protections for this product

 Secure payments

place of origin	Henan, China
weight	60kg
warranty	24 month
brand name	Taizy
voltage	220v 380v
power(w)	3kw
dimension(l*w*h)	800*650*720mm
After-sales Service Provided	Online support
Model	9FQ -360
Name	Grain Grinding Machine
Raw material	Wheat Maize Corn
Color	green
Capacity	300-400kg/h
Weight	60kg
Motor	3kw
hammer	18
Size	800*650*720 mm
Usage	grain grinder
Certification	CE ISO

8.5.4 Molino de bolas

Figura A- 9 Cotización para molino de bolas.

Molinos de bolas para moler arena de zircón

Molinos de bolas para moler arena de zircón 0,4 - 30 t/h Capacidad

Molinos de bolas para moler arena de zircón

Molinos de bolas para moler arena

Molino de bolas de cemento de 30 t/h

Lugar de origen: China.

Nombre de la marca: Hengyang

Certificación: ISO9001

Número de modelo: HC-344

Habla Ahora.



Nombre:	Molinos de bolas para moler arena de zircón	El color:	Cinza
Condición:	Nuevo	Aplicación:	Zinc molienda
Capacidad:	0,4-30 t/h		

Condiciones de pago y envío

Cantidad de orden mínima	1	Precio	5600-356100
Detalles de empaquetado	Negociado	Tiempo de entrega	20-40 días
Condiciones de pago	T/T	Capacidad de la fuente	270 sistemas/mes

8.5.5 Tamiz

Figura A- 10 Cotización para tamiz.

Tamiz vibrador de acero inoxidable, tamiz vibratorio grande y pequeño para polvo granulado, pantalla lineal, tamiz de clasificación de arroz, máquina vibradora rectangular

No hay opiniones

Henan Jinfuda Trading Co., Ltd. - Verified Proveedor multi-especialidad · 5 yrs · CN

1 - 49 unidades

>= 50 unidades

479,00 US\$

449,00 US\$

Variaciones

Selecciona ahora

Número de Modelo(1): 1000*400 (motor doble)

1000*400 (motor doble)

MAQUINARIA DE LA CAPACIDAD(1)

500 - 1500 kg/h

Envío

Las soluciones de envío para la cantidad seleccionada actualmente no están disponibles

Enviar consulta

Chatear

3 pagos sin intereses con

Protecciones para este producto

>

Los componentes principales.	Motor
Lugar del origen	China
Peso	50 KG
Garantía	1 año
Video saliente de inspección	Siempre
: Informe de prueba	Siempre
Dimensión (L*W*H)	120*52*60cm
Después del Servicio de Garantía	Apoyo en línea
Velocidad	Ajustar
Material	Acero inoxidable
Voltaje	220V/50Hz
Tamaño de la pantalla	40*100cm
Capacidad de producción (kg/h)	500 - 1500
Puntos clave de venta	Fácil de operar
Uso	Máquina del polvo del tamiz de grano
Nombre	Cribado separador de vibración lineal
Aplicación	Máquina de clasificación de cacahuete

Material procesado	Plásticos, Productos Químicos, Comida
Peso (KG)	500 KG
Tipo de producto	Shampoo
Voltaje	220V,380V,415V
Garantía	12 meses
Rango de velocidad del husillo (r. p. A m)	1 - 2800 r.p.m
Material	SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L
Capacidades adicionales	Molienda
Lugar del origen	Shanghai, China
Marca	ZH/oem
Dimensión (L*W*H)	600*600*1500mm
Clave de puntos de venta	Larga vida de servicio
: Informe de prueba	Siempre
Video saliente de inspección	Siempre
Los componentes principales.	Motor, De la bomba
Nombre del producto	Calefacción y enfriamiento del tanque de mezcla
Capacidad	50-10000L
Tratamiento de superficie	Espejo pulido o mate pulido
Cantidad mínima del pedido (MOQ, por	1 pieza

8.5.7 Tanque mezcla DES

Figura A- 12 Cotización para tanque de mezcla DES.

Industrial Machinery > Chemical Machinery > Mixing Equipment

Customized 100L SUS304 Industrial High Speed Mixing Tank Blending Machine Paint Shaker High Shear Mixers for Quartz Paint

No reviews yet

Jinan Rainbow Machinery Co., Ltd. · verified Multispecialty supplier · 15 yrs · CN



Other recommendations for your business

Customizable

1 - 4 sets >> 5 sets

\$1,800.00 **\$1,700.00**

Variations

Select now

model number(1): 100L-20000L

100L-20000L

barrel volume (l)(1)

100-20000

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

Send inquiry

Chat now

3 interest-free payments with

Protections for this product

>

Secure payments

Every payment you make on Alibaba.com is secured with strict SSL encryption and PCI DSS data

mixer type	Agitator
material processed	Chemicals, Food, Liquid
weight (kg)	1000
product type	Quartz Paint
voltage	3phase/380v/50Hz or customized
warranty	5 years
material	SUS304, SUS316
place of origin	Jinan
brand name	RAINBOW
dimension(l*w*h)	customization
key selling points	High Productivity
machinery test report	Provided
video outgoing-inspection	Provided
core components	motor, Agitator
Product name	Mixing tank
Application	Dairy, Food, Beverage, etc
Material	SUS304/316 or red copper
Material Thickness	Inside: 3.0mm, outside: 2.0mm
Heating method	electricity/steam heating

8.5.8 Tanque mezclador lavado etanol

Figura A- 13 Cotización para Tanque mezclador lavado etanol.

Tanque mezclador de calentamiento eléctrico de acero inoxidable de alta calidad de 3000-50000 l, tanque de retención con agitador, personalizable.

Aún no hay reseñas



Atributos específicos de la industria

Potencia (kW)	2,2 kW
---------------	--------

Otros atributos

tipo mezclador	Agitador
volumen del barril (l)	personalizable
material procesado	Productos químicos, alimentos
peso (kg)	1000 kilogramos
garantía	1 año
lugar de origen	Porcelana
nombre de marca	Shengtuo
puntos clave de venta	Alto nivel de seguridad
informe de prueba de maquinaria	Proporcionó
inspección saliente por vídeo	Proporcionó
componentes principales	Otro
Especificación del producto	personalizable
Cantidad mínima de pedido	personalizable
Precio	personalizable

Material procesado	Plásticos, Productos Químicos, Comida
Peso (KG)	500 KG
Tipo de producto	Shampoo
Voltaje	220V,380V,415V
Garantía	12 meses
Rango de velocidad del husillo (r. p. A m)	1 - 2800 r.p.m
Material	SUS304, SUS304L, SUS316, SUS316L
Capacidades adicionales	Molienda
Lugar del origen	Shanghai, China
Marca	ZH/oem
Dimensión (L*W*H)	600*600*1500mm
Clave de puntos de venta	Larga vida de servicio
: Informe de prueba	Siempre
Video saliente de inspección	Siempre
Los componentes principales.	Motor, De la bomba
Nombre del producto	Calefacción y enfriamiento del tanque de mezcla
Capacidad	50-10000L
Tratamiento de superficie	Espejo pulido o mate pulido
Cantidad mínima del pedido (MOQ, por	1 pieza

8.5.10 Biorreactor Inoculo

Figura A- 15 Cotización para Biorreactor inoculo.

Maquinaria industrial > Maquinaria de alimentos y bebidas > Maquinaria procesadora de bebidas y vino > Equipo de fermentación

100l 150 litros 150L 200l cónico cerveza fermentador glicol chaqueta de inox tanque de fermentación

No hay opiniones · #8 Populares en Restaurante Brewing Fermenter

Luohe Quality Mechanical Equipment Co., Ltd. · Verified Supplier · 10 yrs · CN

Personalizable

1 - 2 conjuntos3 - 4 conjuntos

1.900,00 US\$1.800,00 US\$

>= 5 conjuntos

1.700,00 US\$

Variaciones

Selección ahora

Número de Modelo(1)

QT-BR01

Envío

Las soluciones de envío para la cantidad seleccionada actualmente no están disponibles

Enviar consultaChatear

3 pagos sin intereses con

Protecciones para este producto >

MAQUINARIA DE LA CAPACIDAD	150L
----------------------------	------

Otros atributos

Lugar del origen	Henan, China
Peso	200 KG
Garantía	1 año
Los componentes principales.	Motor, De la bomba
Clave de puntos de venta	Fácil de operar
Voltaje	220v
Energía (HP)	3250
Dimensión (L*W*H)	600*750*1450mm
: Informe de prueba	Siempre
Video saliente de inspección	Siempre
Nombre del producto	Equipo de elaboración de cerveza
Aplicación	Restaurante
Palabras clave	Tanque de fermentación de cerveza colin
La capacidad de	50-150L

Proceso	Fermento
capacidad	5000L
aplicación	restaurante, bar, hotel, cervecería
grosor	interior:3,0mm; external2,0mm
presión de prueba	0,3mpa
área de intercambio de calor	7.2m2
Paquete de Transporte	caja contrachapada por lcl o contenedor por fcl
Marca Comercial	hg
Código del HS	8419899090

8.5.12 Tanque mezclador acidificación

Figura A- 17 Cotización para mezclador de acidificación.

Tanque mezclador de calentamiento eléctrico de acero inoxidable de alta calidad de 3000-50000 l, tanque de retención con agitador, personalizable.

Aún no hay reseñas



Atributos específicos de la industria

Potencia (kW)	2,2 kW
---------------	--------

Otros atributos

tipo mezclador	Agitador
volumen del barril (l)	personalizable
material procesado	Productos químicos, alimentos
peso (kg)	1000 kilogramos
garantía	1 año
lugar de origen	Porcelana
nombre de marca	Shengtuo
puntos clave de venta	Alto nivel de seguridad
informe de prueba de maquinaria	Proporcionó
inspección saliente por vídeo	Proporcionó
componentes principales	Otro
Especificación del producto	personalizable
Cantidad mínima de pedido	personalizable
Precio	personalizable

8.5.13 Filtro placas y marcos

Figura A- 18 Cotización para filtros placas y marcos FI-01.

Automatic Stainless Steel Beverage Wine Brewery apple Juice Beer Plate and Frame Filter Press

No reviews yet

 Shangqiu Ruike Mechanical Equipment Co., Ltd. · 7 yrs · CN









Minimum order quantity: 1 set

\$2,500.00

Variations

Select now

model number(1): automatic

automatic

processing capacity(1)

98%

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

Send inquiry

Chat now

3 interest-free payments with  

Protections for this product

Secure payments

Every payment you make on Alibaba.com is secured

warranty	2 years
productivity	2000L/Hour
weight (kg)	50
Processing Type	filtration
Power	15KW
Voltage	380V
video outgoing-inspection	Provided
machinery test report	Provided
core components	Pump, Pressure vessel, Engine, PLC
place of origin	Zhejiang, China
brand name	Lway
Dimension(L*W*H)	800×800×60

Packaging and delivery

Selling units	Single item
Single package size	1000X1000X100 cm
Single gross weight	60.000 kg

8.5.14 Filtro placas y marcos

Figura A- 19 Cotización para filtros placas y marcos FI-02.

Automatic Stainless Steel Beverage Wine Brewery apple Juice Beer Plate and Frame Filter Press

No reviews yet

 Shangqiu Ruike Mechanical Equipment Co., Ltd. · 7 yrs ·  CN



Minimum order quantity: 1 set

\$2,500.00

Variations [Select now](#)

model number(1): automatic

processing capacity(1)

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

[Send inquiry](#) [Chat now](#)

3 interest-free payments with  

Protections for this product [>](#)

☒ **Secure payments**

Every payment you make on Alibaba.com is secured

warranty	2 years
productivity	2000L/Hour
weight (kg)	50
Processing Type	filtration
Power	15KW
Voltage	380V
video outgoing-inspection	Provided
machinery test report	Provided
core components	Pump, Pressure vessel, Engine, PLC
place of origin	Zhejiang, China
brand name	Lway
Dimension(L*W*H)	800×800×60

Packaging and delivery

Selling units	Single item
Single package size	1000X1000X100 cm
Single gross weight	60.000 kg

8.5.16 Liofilizador

Figura A- 21 Cotización para liofilizador.

CE Industrial Lyophilizer Freeze Dryer for Food Fruit and Vegetable Lyophilization Machine

Price

No reviews yet

 Shandong Xindaxin Food Industrial Equipment Co., Ltd. · 7 yrs ·  CN









Customizable

Minimum order quantity: 1 set

\$10,000.00-99,000.00

 Sample price: \$100,000.00 [Get sample](#)

Variations [Select now](#)

model number(3)

[customized-1100](#) [customized-1200](#) [customized-1600](#)

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

[Send inquiry](#) [Chat now](#)

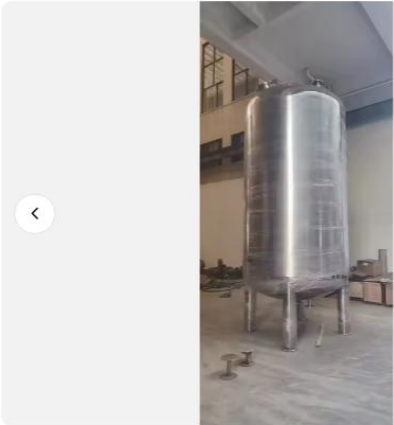
3 interest-free payments with   

application	Food Processing
voltage	220v
warranty	2 years
weight (kg)	500
place of origin	Shandong, China
brand name	TCA
power(w)	3kw
key selling points	Automatic
machinery test report	Provided
video outgoing-inspection	Provided
core components	motor, Gearbox, PLC
heating method	Gas Heating
material	SUS304
Name	Freeze Drying Machine
input capacity	50kg-200kg
Function	puffing drying for fruit and vegetables
Model	DG-214
Feature	PLC control,SUS304,no oil content,healthy
Dimension	3.5*2.5*2m
Heating method	Electric and steam
MOQ	1 set

8.5.17 Tanque TK -01,02,03

Figura A- 22 Cotización para TK-01,02,03.

Quzhou JR Machinery Co., Ltd. · Verified Multispecialty supplier · 2 yrs · CN



<

>



\$1,399.00

\$1,325.00

\$1,299.00

Variations

capacity(1)

200-8000L

Shipping

Multimodal transport

Shipping fee: Est. \$1,971.75 for 1 unit

Estimated delivery in 50-61 business days

* Shipping costs listed are estimates for your reference. Please contact the supplier for the final quote.

Send inquiry

Chat now

3 interest-free payments with  

Protections for this product

warranty	1 Year
Weight (KG)	289
video outgoing-inspection	Provided
machinery test report	Not Available
core components	Pressure vessel
place of origin	Zhejiang, China
brand name	JR
dimension(l*w*h)	Customer demand
key selling points	Competitive Price
Applicable Industries	Manufacturing Food & Beverage Factory, Farms, Brewing
Material	SS304/SS316L
Video outgoing-inspection	Provided
Warranty of core components	1Year
Name	storage tank
Key Selling Points	Easy to Operate
Dimension(L*W*H)	Customer'demand
polish	Polished, mirror panel, matte finish
Specification	200-8000L
Usage	Food, chemical, biological industries

8.5.18 Tanque TK-04

Figura A- 23 Cotización para TK-04.

50L 100L 200L 500L 1000L Vertical 304 316 tank

No reviews yet · #1 Most popular in Vertical Chemical Storage Equipment

Gaoyou Yuhang Chemical Machinery Factory · 13 yrs · CN







>= 1 sets

\$300.00

Variations

Select now

capacity(1): 50L-50000L

50L-50000L

model number(1)

YH-CG-100

Shipping

Shipping fee and delivery date to be negotiated. Chat with supplier now for more details.

Send inquiry

Chat now

3 interest-free payments with  

Max Working Pressure(mpa)	0.2
Medium	Water

Other attributes

warranty	1 Year
Weight (KG)	100
video outgoing-inspection	Provided
machinery test report	Provided
core components	Pressure vessel
place of origin	Jiangsu, China
brand name	yuhang
key selling points	Long Service Life
Material	SS304/316L

8.6 Anexo F – Cálculos análisis económicos

Tabla A- 21 Costo de materias primas para la producción anual de ácido poliglutámico en la planta piloto.

COSTOS MATERIAS PRIMAS I			
Sustancia	Cantidad [kg/año]	Valor por kg	Costo Total [\$]
Maíz (Zea Mays L)	47813.16	0.01	\$478.13
Cloruro de colina (ChCl)	152.52	2.00	\$305.04
Imidazol	357.12	2.00	\$714.24
Etanol absoluto (99.5%)	1226.67	1.20	\$1,472.00
Cellic CTec2 (celulasa)	2073.9	9.98	\$20,697.52
Buffer citrato de sodio (0.1 M)	91.14	2.00	\$182.28
Bacillus subtilis	35.34	2.80	\$98.95
Extracto de levadura	770.04	1.50	\$1,155.06
L-Glutamato	69.75	2.00	\$139.50
Agua	89585.04	0.0004	\$34.04
Celulasa	2073.9	4.78	\$9,913.24
Costo total de materia prima			\$35,190.01

COSTOS MATERIAS PRIMAS II			
Sustancia	Cantidad [kg/año]	Valor por kg	Costo Total [\$]
KH ₂ PO ₄ (Fosfato monopotásico)	147.87	5.80	\$857.65
MgSO ₄ ·7H ₂ O	29.76	0.30	\$8.93
HCl (Ácido clorhídrico)	556.14	58.72	\$32,656.54
Agua	536080.83	0.0004	\$203.71
Costo total de materia prima			\$33,726.83

Tabla A- 22 Estimación de costos de los equipos para la planta piloto.

COSTOS DE EQUIPOS				
Equipos	Volumen [L]	Cantidad	Costo aprox, equipo [\$]	Total
Balsa de lavado	1670	1	\$1,200.00	\$1,200.00
Secador	1630	1	\$4,799.00	\$4,799.00
Trituradora	710	1	\$600.00	\$600.00
Molino de bolas	720	1	\$2,800.00	\$2,800.00
Tamiz	710	1	\$479.00	\$479.00
Reactor pretratamiento DES	630.00	1	\$2,300.00	\$2,300.00
Tanque mezcla DES	10.00	1	\$1,800.00	\$1,800.00
Tanque mezclador lavado etanol	2850.00	1	\$500.00	\$500.00
Tanque mezclador hidrolisis	5920.00	1	\$2,300.00	\$2,300.00
Biorreactor Inoculo	150	1	\$1,900.00	\$1,900.00
Biorreactor Fermentación	2470	1	\$3,500.00	\$3,500.00
Tanque mezclador acidificación	3450.00	1	\$500.00	\$500.00
Filtro placas y marcos	4030.00	1	\$2,500.00	\$2,500.00
Filtro placas y marcos	2930	1	\$2,500.00	\$2,500.00
Equipo ultrafiltración	2250	1	\$4,680.00	\$4,680.00
Liofilizador	250	1	\$10,000.00	\$10,000.00
Tanque 01	1130.00	1	\$1,399.00	\$1,399.00
Tanque 02	750.00	1	\$1,399.00	\$1,399.00
Tanque 03	2610.00	1	\$1,399.00	\$1,399.00
Tanque 04	48.24	1	\$300.00	\$300.00
Total, Ce				\$46,855.00

Tabla A- 23 Factor de Hand.

Factor de Hand				
Equipo	Cantidad	Costo equipo [\$]	Factor de Hand	Costo total [\$]
Balsa de lavado	1	\$1,200.00	2.5	\$3,000.00
Secador	1	\$4,799.00	2.5	\$11,997.50
Trituradora	1	\$600.00	2.5	\$1,500.00
Molino de bolas	1	\$2,800.00	2.5	\$7,000.00
Tamiz	1	\$479.00	2.5	\$1,197.50
Reactor pretratamiento DES	1	\$2,300.00	3.5	\$8,050.00
Tanque mezcla DES	1	\$1,800.00	4	\$7,200.00
Tanque mezclador lavado etanol	1	\$500.00	2.5	\$1,250.00
Tanque mezclador hidrolisis	1	\$2,300.00	2.5	\$5,750.00
Bioreactor Inoculo	1	\$1,900.00	4	\$7,600.00
Bioreacto Fermentación	1	\$3,500.00	4	\$14,000.00
Tanque mezclador acidificacion	1	\$500.00	2.5	\$1,250.00
Filtro placas y marcos	1	\$2,500.00	2.5	\$6,250.00
Filtro placas y marcos	1	\$2,500.00	2.5	\$6,250.00
Equipo ultrafiltracion	1	\$4,680.00	2.5	\$11,700.00
Liofilizador	1	\$10,000.00	2.5	\$25,000.00
Tanque 01	1	\$1,399.00	4	\$5,596.00
Tanque 02	1	\$1,399.00	4	\$5,596.00
Tanque 03	1	\$1,399.00	4	\$5,596.00
Tanque 04	1	\$300.00	4	\$1,200.00
Costo ISBL Hand				\$136,983.00

Tabla A- 24 Factorial detallada.

Factorial detallada												
Equipo	Cantidad	Costo equipo [\$]	f_m	f_p	f_{er}	f_i	f_c	f_s	f_l	OS	D&E	X
Balsa de lavado	1	\$1,200.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Secador	1	\$4,799.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Trituradora	1	\$600.00	1.3	0.2	0.6	0.2	0.2	0.1	0.05	0.4	0.2	0.
Molino de bolas	1	\$2,800.00	1.3	0.2	0.6	0.2	0.2	0.1	0.05	0.4	0.2	0.
Tamiz	1	\$479.00	1.3	0.2	0.6	0.2	0.2	0.1	0.05	0.4	0.2	0.
Reactor pretratamiento DES	1	\$2,300.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Tanque mezcla DES	1	\$1,800.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Tanque mezclador lavado etanol	1	\$500.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Tanque mezclador hidrolisis	1	\$2,300.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Bioreactor Inoculo	1	\$1,900.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Bioreacto Fermentación	1	\$3,500.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Tanque mezclador acidificacion	1	\$500.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Filtro placas y marcos	1	\$2,500.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Filtro placas y marcos	1	\$2,500.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Equipo ultrafiltracion	1	\$4,680.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Liofilizador	1	\$10,000.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Tanque 01	1	\$1,399.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Tanque 02	1	\$1,399.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Tanque 03	1	\$1,399.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Tanque 04	1	\$300.00	1.3	0.8	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.
Costo ISBL Detallado												

Tabla A- 25 Estimación de costos adicionales.

Estimación de costos adicionales		
Costos	Fórmula	Valor
Ce	Σc_{ei}	\$46,855.00
ISBL	Mé. Fac. Det.	\$153,664.68
OSBL	$0.4 C_{ISBL}$	\$61,465.87
Ingeniería y Construcción	$0.15 C_{ISBL}$	\$23,049.70
Imprevistos	$(0.1)(1.4 C_{ISBL})$	\$21,513.06
Inversión de Capital Fijo	$1.59 C_{ISBL}$	\$244,326.85
Producción Variable (VCOP)	$C_{materias\ primas} + otros$	\$68,916.84

Producción Fijo (CSOP)	Σ sueldos Trabajadores + otros	\$2,580.00
Supervisión	$0.25 C_{SOP}$	\$645.00
Salud y Seguro	$0.25 (0.4 C_{SOP})$	\$258.00
Mantenimiento	$0.03 C_{ISBL}$	\$4,609.94
Impuestos y permisos	$0.01 C_{ISBL}$	\$1,536.65
Alquiler de Tierra	$0.01 (C_{ISBL} + C_{OSBL})$	\$0.00
Gastos generales	$[(0.65)(1.25 C_{SOP})] + [0.03 C_{ISBL}]$	\$6,706.19
Medio Ambiente	$(0.1)(1.4 C_{ISBL})$	\$21,513.06
Producción Total (CCOP)	$VCOP + [2.56 C_{SOP} + 0.1 C_{ISBL}]$	\$90,888.11
Capital de Trabajo (CMP)	C_{MP} de 2 semanas	\$2,650.65
Inventario Productos y Subproductos	C_{COP} de 2 semanas	\$3,495.70
Efectivo en Caja	C_{COP} de 1 semana	\$1,747.85
Cuentas por Cobrar	C_{COP} de 4 semana	\$6,991.39
Créditos pendientes	$1.1 C_{MP}$ de 4 semanas	\$5,831.42
Inventario Repuestos (IR)	$(0.01)(1.4 C_{ISBL})$	\$2,151.31
Capital de Trabajo Total	$(C_{MP} \text{ 6 semanas}) + (C_{COP} \text{ 6 semanas}) + IR$	\$20,590.34
ACC		\$35,727.04
TCOP		\$90,888.11
FCOP		\$21,971.27
Inversion inicial		\$280,410.33

Tabla A- 26 Diagrama de flujo de caja.

Año	Beneficio bruto	Depreciación	Ingreso Imponible	Impuesto	Flujo de caja	Flujo acumulativo	Saldo
0	-	-	-	-	- \$244,326.85	- \$244,326.85	- \$488,653.70
1	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	\$149,444	\$149,444	-\$94,883
2	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	\$130,692	\$298,888	\$54,561
3	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	\$111,941	\$448,332	\$204,005
4	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	\$93,189	\$597,776	\$353,449
5	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	\$74,437	\$747,220	\$502,893
6	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	\$55,686	\$896,664	\$652,337
7	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	\$36,934	\$1,046,108	\$801,782
8	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	\$18,182	\$1,195,552	\$951,226

9	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	-\$570	\$1,344,996	\$1,100,670
10	\$149,444	\$24,433	\$125,011	\$18,752	-\$19,321	\$1,494,441	\$1,250,114