

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Estudio de ampliación de Planta de procesamiento de tagua (*Phytelephas aequatorialis*)  
para la extracción de manano**

**Ana Gabriela Andrade Sosa**

**Ingeniería Química**

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

Quito, 21 de diciembre de 2020

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**  
**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

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

**Estudio de ampliación de Planta de procesamiento de tagua (*Phytelephas aequatorialis*)  
para la extracción de manano**

**Ana Gabriela Andrade Sosa**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Juan Diego Fonseca, PhD**

Quito, 21 de diciembre de 2020

**© DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Nombres y apellidos: Ana Gabriela Andrade Sosa

Código: 00131882

Cédula de identidad: 1718553421

Lugar y fecha: Quito, 21 de diciembre de 2020

### **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

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

### **UNPUBLISHED DOCUMENT**

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

## RESUMEN

El manano es un polisacárido bioactivo que ha generado interés en las industrias cosmética, farmacéutica y alimenticia, pues puede ser usado como agente de suspensión, anti-aglomerante, y como gliconutriente, entre otros. Este compuesto de forma pura constituye aproximadamente el 90% de la semilla de tagua (*Phytelephas aequatorialis*). En la actualidad, la tagua se comercializa como polvo de distintas granulometrías para sus diferentes aplicaciones. Innovatagua es una empresa que se encarga de la recolección y transformación de la nuez de tagua, de este proceso se obtiene como subproducto del tamizado una fracción de partículas menores a 105  $\mu\text{m}$  que no se comercializa, por lo que se percibe una oportunidad de utilizar dicha fracción para la extracción de manano. Considerando que se obtienen 250 kg de polvo de tagua como residuo del proceso de molido y tamizado cada 2 días y que cada lote de extracción de manano tiene un tiempo de procesamiento de 48 h, el caudal mensual es de 1349 kg de manano puro al 95 % en peso. La ampliación de la planta para la obtención de manano requiere de una inversión de USD \$ 64 399 que se recuperará en un tiempo máximo de 1,42 años considerando un análisis del mercado. En cuanto al precio de venta del manano en polvo, se obtuvo una tasa interna de retorno de 153%; este análisis se hizo por medio de 3 métodos y la comparación de los mismos, en el que además se estimó un valor actual neto de USD \$1.811.386. Esto representa una buena oportunidad de implementación debido al tiempo de retorno y la ganancia calculada para el proceso.

**Palabras clave:** extracción alcalina, manano, tagua.

## ABSTRACT

Mannan is a bioactive polysaccharide that generated interest in the cosmetic, pharmaceutical and food industries, as it can be used as a suspending agent, flowability agent, and as a glyconutrient, among others. This compound in its pure form constitutes approximately 90% of tagua seed (*Phytelephas aequatorialis*). Currently, this seed is marketed as a powder of varied granulometries for its different applications. Innovatagua is a company that is responsible for the collection and transformation of ivory nuts. As a consequence of this process, a fraction of particles smaller than 105  $\mu\text{m}$  are obtained as a by-product of sieving; however, this fraction is not commercially accepted. For this reason, the unused fraction can be considered an opportunity for mannan extraction. With 250 kg of this raw material being produced every 2 days, and considering that every batch has an extraction time of 48 hours; the monthly flow of final product would be 1349 kg of pure mannan. The expansion requires an investment of USD \$ 64 399 that will be recovered in a maximum time of 1.42 years, considering an analysis of the market. In terms of price, the estimated internal rate of return was 153%; all this analysis was performed through 3 different methods along with their comparison, where a net present value of USD \$181,386 was also estimated. Representing a good implementation opportunity due to the payback time and the profit calculated for the project.

**Key words:** alkali extraction, ivory nut, pure mannan

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	9
<b>INDICE TABLAS ANEXOS</b> .....	9
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	10
<b>INDICE GRÁFICOS ANEXOS</b> .....	10
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	11
<b>1.1.1. La semilla de tagua y su industria</b> .....	11
<b>1.1.2. Características y usos del manano</b> .....	13
<b>1.2. Justificación del proyecto</b> .....	15
<b>1.3. Objetivos del proyecto</b> .....	17
<b>1.4. Resultados esperados</b> .....	17
<b>2. BASES DEL DISEÑO</b> .....	18
<b>2.1. Descripción del producto</b> .....	18
<b>2.2. Descripción de las materias primas</b> .....	18
<b>2.3. Limitaciones y normas</b> .....	19
<b>2.4. Selección del proceso</b> .....	19
<b>2.5. Ubicación</b> .....	21
<b>2.6. Terminología</b> .....	21
<b>3. DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE MANANO</b> .....	23
<b>4. DISEÑO DE LA PLANTA</b> .....	26
<b>5. ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....	29
<b>5.1. Costo de la planta</b> .....	29
<b>5.2. Recuperación de la inversión y análisis precio de venta</b> .....	31
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	33
<b>7. REFERENCIAS</b> .....	35
<b>8. ANEXOS</b> .....	39
<b>8.1. Anexo A: Información relevante</b> .....	39
<b>8.1.1. Tagua</b> .....	39
<b>8.1.2. Fichas de seguridad para reactivos usados en el proceso</b> .....	39
<b>8.2. Anexo B: Metodologías</b> .....	41
<b>8.2.1. Balance de masa</b> .....	41
<b>8.2.2. Balance de energía</b> .....	42
<b>8.2.3. Diagrama de flujo</b> .....	42
<b>8.2.4. Diseño de Equipos</b> .....	43

8.2.5. Análisis económico.....	46
8.3. Anexo C: Cálculos.....	49
8.3.2. Dimensionamiento.....	49
8.3.4. Estimación de costos.....	52

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Precio de materias primas para la producción de manano.....	16
Tabla 2. Precio comercial de manano por gramo.....	18
Tabla 3. Cantidad de materia primaria necesaria.....	24
Tabla 4. Potencia requerida por los equipos.....	25
Tabla 5. Dimensiones tanque principal.....	27
Tabla 6. Dimensiones equipos adicionales.....	27
Tabla 7. Dimensiones tanque para expansión.....	28
Tabla 8. Comparación ISBL entre métodos.....	29
Tabla 9. Resumen Inversión de Capital Fijo.....	30
Tabla 10. Resumen Costos de Producción.....	30
Tabla 11. Resumen Capital de Trabajo.....	31
Tabla 12. Valores flujo de caja.....	31
Tabla 13. Comparación con respecto a distintos precios.....	31

## INDICE TABLAS ANEXOS

Anexo 1. Seguridad de reactivos.....	39
Anexo 2. Escalamiento de operaciones.....	42
Anexo 3. Factor de escalamiento.....	42
Anexo 4. Balance de masa.....	49
Anexo 5. T1 datos.....	49
Anexo 6. Dimensiones T1.....	49
Anexo 7. Espesor y masa T1.....	50
Anexo 8. Datos agitador.....	50
Anexo 9. Dimensiones de Chaqueta de calentamiento.....	50
Anexo 10. Dimensiones tanque de almacenamiento solventes.....	50
Anexo 11. Espesor tanque almacenamiento.....	50
Anexo 12. Dimensionamiento tanque PE.....	51
Anexo 13. Espesor tanque PE.....	51
Anexo 14. Conexiones Shortcut Column Hysys.....	51
Anexo 15. Composición de las corrientes.....	51
Anexo 16. Parámetros de operación.....	51
Anexo 17. Número de platos de la columna.....	52
Anexo 18. Datos de columna.....	52
Anexo 19. Espesor de columna.....	52
Anexo 20. Estimación de costos de equipos necesarios para el proceso.....	52
Anexo 21. Estimación con Método factorial detallado.....	53
Anexo 22. Estimación método Hand y Lang con factores de literatura y modificados.....	54
Anexo 23. Estimación Capital fijo.....	55
Anexo 24. Estimación y componentes capital de trabajo.....	55
Anexo 25. Flujo de caja comparando 3 precios para el mercado.....	55
Anexo 26. Flujo efectivo.....	55
Anexo 27. Análisis de Recuperación de inversión comparando 3 precios.....	56

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso de la semilla de tagua en la industria.....	12
Figura 2. Aprovechamiento de Tagua.....	13
Figura 3. Diagrama de bloque, proceso reportado por Meier, H.....	20
Figura 4. Diagrama de bloque, proceso reportado por Chanzy et all.....	20
Figura 5. Diagrama de bloque con corrientes.....	24
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso.....	26

## INDICE GRÁFICOS ANEXOS

Anexo Gráfico 1. Potencia para agitador.....	44
Anexo Gráfico 2. Filtro conico.....	46

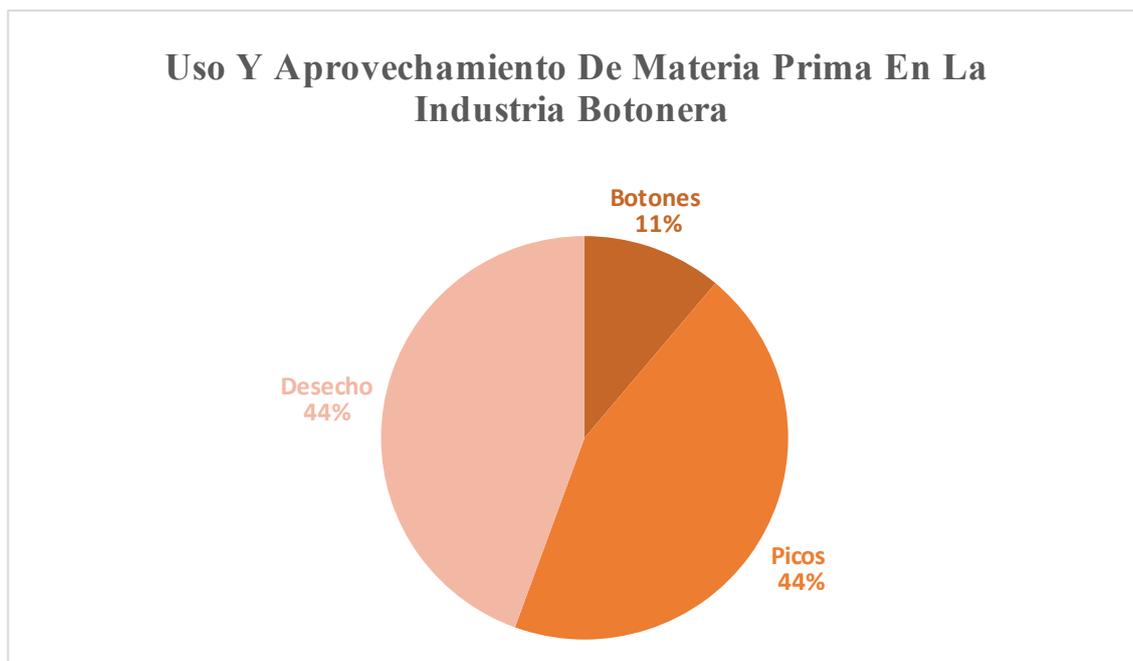
## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

#### 1.1.1. La semilla de tagua y su industria

La tagua (*Phytelephas aequatorialis*) es una especie endémica del Ecuador que crece en la zona montañosa tropical a unos 1500 msnm de forma silvestre. La palma adulta tiene alrededor de 10 metros de altura y tarda 15 años en llegar a la madurez [1] [2]. Para los nativos de las zonas montañosas, los taguales representan un sustento importante para su vida diaria, pues el endospermo inmaduro y los palmitos son alimento, las hojas secas son usadas para la elaboración de techos para sus casas, y los troncos y ramas son usados como madera [3][4]. La semilla es la parte representativa de esta palma, la cual económicamente ha tenido una gran relevancia en el Ecuador, convirtiéndose en una de las 5 materias maderables más exportadas. Su principal uso es la elaboración de botones, joyas y artesanías; la comercialización del botón de semilla de tagua se inició de manera internacional a mediados del siglo XIX, con una gran aceptación hasta poco después de la segunda guerra mundial [5]. El avance de la tecnología y el desarrollo de nuevos materiales con bajo costo de producción provocaron la disminución de la demanda de la tagua [6].

En el 2017, la exportación de tagua fue de alrededor de \$ 6,5 millones (USD), siendo los principales exportadores pequeñas y medianas empresas [7]. Para formar parte de esta estadística, la tagua ha sido utilizada principalmente para la elaboración de botones y los residuos en polvo de esta producción son usados como abrasivo pulidor, además de la exportación de sus nueces pulidas. Localmente, el uso de los residuos de la elaboración de botón, llamados picos, y los botones que no llegan a la calidad ideal para la exportación son usados como carbón, y el polvo como alimento de ganado vacuno [3].

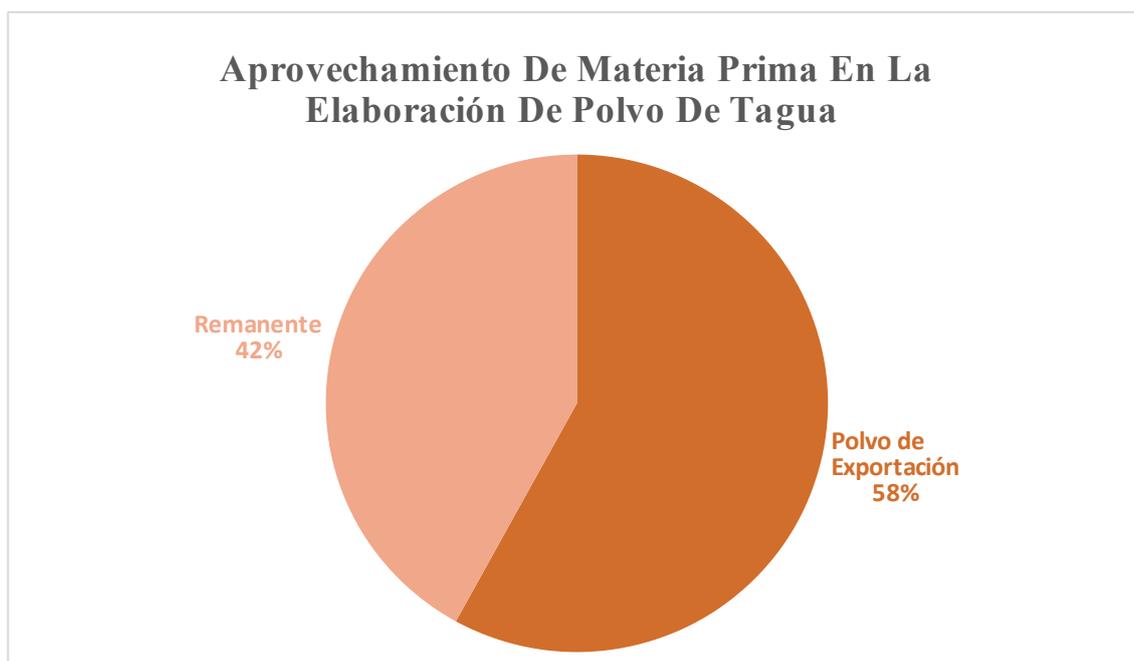


*Figura 1. Uso de la semilla de tagua en la industria*

Innovatagua es una empresa que inició sus operaciones en 2013 con la exportación de semillas pulidas como se puede ver en el anexo A, siendo esta materia prima usada principalmente en Estados Unidos. En la actualidad, se han encontrado nuevos usos para esta semilla, lo que ha brindado un nuevo enfoque a su industria y permite el cuidado profundo de los bosques de tagua y su ecosistema. Tomando en cuenta que la recolección de la semilla es completamente manual, se generan nuevas plazas de trabajo para la gente de la zona. Con una demanda en alza, la empresa ha invertido en el desarrollo de nuevas presentaciones de acuerdo a las necesidades del mercado, por lo que se enfocó en dar valor agregado al producto para la comercialización de materia prima transformada.

La semilla se transforma en polvo de distintas granulometrías, que se elabora de acuerdo a la necesidad de cada cliente, por medio de varios procesos de molienda y tamizado. Resultado de esta manufactura se obtiene como residuo un polvo fino blanco, libre de corteza igual al exportado, pero de tamaño de partícula menor a 105  $\mu\text{m}$  (150 mesh).

En la actualidad la tagua se usa principalmente como reemplazo de polímeros sintéticos [8]. Polímeros sintéticos de tamaño de partícula reducidos son usados en varias formulaciones cosméticas; sin embargo, la ONU instó a los gobiernos a reducir el consumo de estos compuestos y la comisión Europea ha analizado el veto de los mismos en todas las industrias aplicando prohibiciones desde 2018 hasta 2030, mientras que Estados Unidos fue pionero impidiendo su uso gradual desde 2017 hasta 2019 [9].



*Figura 2. Aprovechamiento de Tagua*

### **1.1.2. Características y usos del manano**

El manano es un polímero lineal no tóxico, que en la naturaleza se encuentra de cuatro formas; manano puro, glucomanano, galactomanano y galactoglucomanano [10]. Este compuesto tiene un papel principalmente estructural al unirse con la celulosa convirtiéndose en una fuente de carbohidratos [10]. El manano en general es un polisacárido que ha adquirido gran interés en diversos sectores industriales; una de sus características más importantes es la capacidad de formar películas plásticas con una resistencia a la tracción relativamente alta [11]. A continuación, se presentará acerca de estas variantes naturales de manano.

El glucomanano es un compuesto hidrófilo no celulósico, que se encuentran en las paredes lignificadas de la madera. Este funciona con otros polisacáridos para usarse como agente gelificante y espesante. Un ejemplo representativo de este tipo de manano se encuentra en el Konjac (tubérculo de la planta *Amorphophallus konjac*) nativo de Asia oriental; esta harina se emplea en el tratamiento de diabetes y obesidad, además como aditivo en alimentos, cosméticos y medicamentos. Además, su uso es deseable en funciones bioactivas debido a su bajo peso molecular y de menor viscosidad. Uno de los contras en la industria es su capacidad de hidratación ya que se hincha 200 veces su volumen por lo tanto es necesaria una hidrólisis parcial usando mananasa [12][13].

El galactomanano es un polisacárido neutro derivado principalmente de plantas, endospermos de semillas dicotiledóneas, algas marinas y de fuentes microbianas. Este compuesto se encarga de la viscosidad de las formulaciones; su característica hidrofílica es variable a los residuos de galactosa en la cadena principal [10][11]. Un ejemplo de este tipo de polisacárido es la goma guar que se extrae de la planta *Cyamopsis tetragonolobus* y se usa en la industria por su amplio rango de estabilidad de viscosidad para la formación de dispersiones coloidales. Adicionalmente, se usa como estabilizante, aditivo y emulsionante por su resistencia a la degradación en condiciones de pH bajo y con solubilidad en agua fría [13].

El Galactoglucomanano se encuentra principalmente en las maderas blandas y ha generado interés por su aplicabilidad en productos de embalaje como barrera de oxígeno, formación de emulsiones e hidrogeles en el campo biomédico. Desde hace 50 años el uso que se le ha dado a este compuesto es para la producción de papel y pulpa de papel [14].

Por último, el manano lineal es neutral y soluble en agua, este compuesto constituye las maderas blandas y las semillas. Por lo general, tiene aproximadamente

95% de manosa; este tipo de manano tiene distintas características bioactivas, como es en el caso del aloe vera que muestra propiedades terapéuticas [10].

Estudios determinaron que el principal componente de la semilla de tagua (endospermo) es manano, del cual se constituyen en un 90% en peso [15]. La tagua es uno de los pocos materiales que contienen manano puro a diferencia de otras especies como el café o la tara que contienen glucomanano o galactomanano [16]. El manano tiene una alta viscosidad y, específicamente en la semilla de tagua, provee una protección contra el esfuerzo mecánico ya que este compuesto es una reserva de alimento que forma finas capas, por lo que adquiere una consistencia como la del hueso [13].

La industria farmacéutica tiene grandes proyecciones para este producto puesto que se han realizado estudios que confirman que es un gliconutriente esencial que previene el riesgo de infecciones del tracto urinario; además, se observa que decrece el apetito y reduce la absorción del colesterol [17]. Este es un sustituto para antibióticos ya que actúa como un tipo de enlaces de lectina por lo que se cree que evita la adherencia de los patógenos intestinales como *E. coli* y ciertas especies de salmonela en la mucosa intestinal[17][18].

## **1.2. Justificación del proyecto**

Como se mencionó en la sección 1.1, Innovatagua tiene como parte de su producción una fracción remanente de polvo que no tiene acogida comercial debido a que sus partículas son muy pequeñas. Conociendo el porcentaje de manano en la tagua se ve la oportunidad de la extracción de este polisacárido que tiene aplicaciones industriales importantes y un extenso mercado en los productos cosméticos y de cuidado personal. En este campo, el manano puede reemplazar a la silica que causa enfermedades de pulmón, afecciones respiratorias no graves y silicosis, cumpliendo la

misma función en los productos; es decir, actuaría como aglutinante [19]. El dióxido de titanio es considerado inerte en las formulaciones; no obstante, uno de sus efectos secundarios es que las partículas ingresan por los poros hasta los conductos sanguíneos provocando daño mitocondrial y cáncer. El dióxido de titanio forma parte de productos de protección solar y pasta de dientes, por lo que sería un compuesto sustituible [19] por el manano. La industria alimenticia es otra alternativa, ya que una de las características del manano es que se puede usar como agente de suspensión y anti aglomerante en el caso de la leche en polvo o la soya, además de su uso en la producción de confitería [18].

Para la obtención de manano se usa materia prima que se consideraba como desecho y que ocupa en la actualidad un espacio de almacenamiento importante; este material residual puede ser aprovechado, brindando un nuevo producto de valor agregado. Considerando el doble de precio de las materias primas necesarias para este proceso, se realizó una estimación rápida de costos que se detalla en la tabla 1, la misma que refleja que el costo de producción por kg es de USD \$12,25. Observando que el precio de venta comercial de manano puro a partir de tagua es de aproximadamente \$30 por gramo, se tiene un amplio rango de beneficio con respecto al costo de producción. Con esta estimación se espera que en un inicio su venta correspondería al análisis de comportamiento del mercado con un costo más accesible del producto.

*Tabla 1. Precio de materias primas para la producción de manano*

<b>Materia</b>	<b>Precio por kg [USD]</b>
Acetona	2,51
Etanol	2,51
Clorito de sodio	0,02
Ácido acético	0,46
Agua	0,01
Anhidrido acético	0,07
NaOH	0,08

KOH	0,23
Dicloro metano	0,20
A. perclórico	0,02
Total	6,12 *2= 12,25

### 1.3. Objetivos del proyecto

Considerando lo planteado en las secciones 1.1 y 1.2, el objetivo general del proyecto es el estudio de la ampliación de una planta de procesamiento de tagua para la obtención de manano. Para cumplir con este objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Diseño del proceso para la obtención del manano
- Diseño de la planta para llevar a cabo el proceso
- Análisis económico sobre la rentabilidad del proyecto

Estos objetivos serán desarrollados en los siguientes capítulos y sus respectivas metodologías y cálculos serán encontrados en los anexos B, C y D.

### 1.4. Resultados esperados

Tomando en cuenta los beneficios del manano mencionados en las secciones 1.1 y 1.2, se espera que el interés de la industria incremente a fin de hacer de este polisacárido más usado. En este caso, se plantearía la eliminación de una fracción de polvo de tagua que actualmente está a la venta, aumentando el caudal de producción de manano extraído; además, se hará el análisis del tanque sobredimensionado para este caso.

El nuevo producto brindará ingresos adicionales a partir de una materia prima que no estaba considerada en la rentabilidad de la producción actual; que permite incrementar y ofrecer al mercado internacional un producto noble, escaso y aplicable a varias formulaciones industriales.



## 2. BASES DEL DISEÑO

### 2.1. Descripción del producto

El producto que se desea obtener es manano lineal en polvo con una pureza de 95% en peso. Este polisacárido no presenta riesgos a la salud ni al ambiente [20], además es muy estable bajo condiciones adecuadas de almacenamiento, por lo que requiere de un espacio seco y ventilado. La presentación comercial se hará en bolsas de 1kg. La comercialización de manano puro es muy escasa, por lo que a nivel mundial existen tres empresas, descritas en la tabla a continuación.

*Tabla 2. Precio comercial de manano por gramo*

<b>Empresa</b>	<b>Precio \$/g</b>
Elicityl [21](Fr)	146
Megazyme[22] (USA)	70
Dextra [23](UK)	29

### 2.2. Descripción de las materias primas

Para la producción se va a aprovechar los 250 kg de polvo de tagua con partículas menores a 105  $\mu\text{m}$ , como se describió en la sección 1.1. Se plantean dos tipos de pretratamiento, el primero consta de una solución 1:1 de etanol-acetona y el segundo de clorito de sodio y ácido acético glacial[15].

Por otro lado, para la obtención de manano se hace una extracción con KOH y luego una acetilación como proceso previo a la cristalización del producto final, en la que se usan anhídrido acético y diclorometano. Como paso final es necesario realizar una cristalización con NaOH [24]. Es importante mencionar que se requiere de un lavado con agua después de cada proceso.

La mayor parte de los reactivos a usar son controlados por ser precursores químicos y las respectivas fichas de seguridad se encuentran en el anexo A. Por otro lado, ningún químico usado como materia prima es parte del producto final.

### **2.3. Limitaciones y normas**

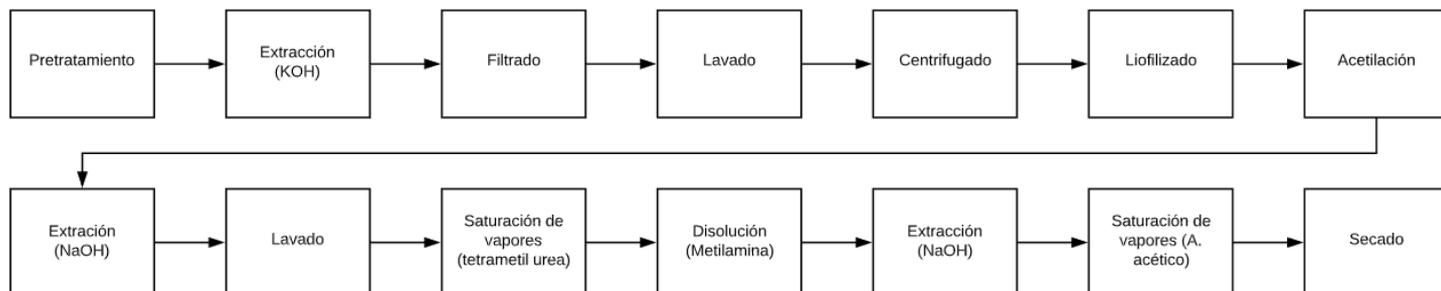
La semilla de tagua se cosecha a lo largo de todo el año; sin embargo, una limitación puede darse entre los meses de diciembre a febrero debido a que en la región costa es temporada de invierno. Como consecuencia, la frecuencia de recolección de la semilla se ve disminuida, además que uno de los principales procesos de secado se vuelve más lento por la humedad propia del clima.

Ecuador cuenta con varias normas regulatorias de precursores químicos. Según el artículo 13 de la Ley de Sustancias Estupefacientes y Psicotrópicas, es competencia del Consejo directivo de CONSEP la calificación de personas naturales o jurídicas que requieran permiso de producción, venta, importación o exportación de sustancias sujetas a fiscalización [25]. El proceso consiste en una solicitud dirigida al director Nacional del Control y Fiscalización, una inspección previa para verificación de información, un informe en el que se detallará la infraestructura física, instalaciones y capacidad tanto de almacenamiento como de consumo de las sustancias. La licencia otorgada tiene vigencia hasta el 31 de diciembre de cada año [25].

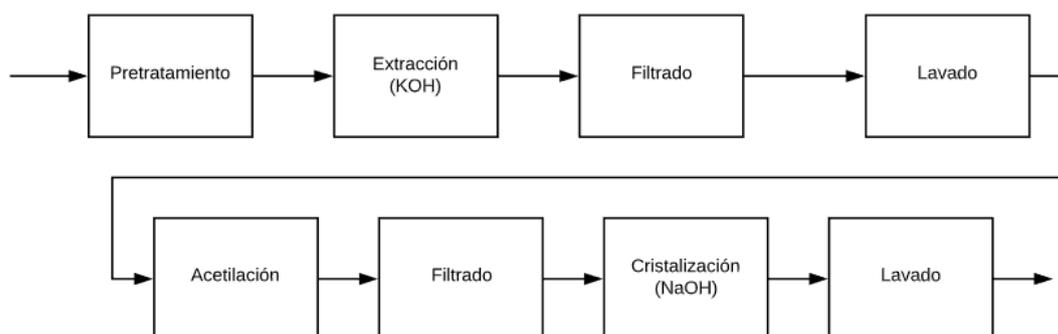
### **2.4. Selección del proceso**

El proceso de obtención de manano consta de tres etapas principales; pretratamiento del polvo de tagua, extracción del manano, y la cristalización del mismo. Existen distintos mecanismos para la obtención final, y estos se diferencian en su mayoría en la etapa de cristalización por lo cual la comparación se hará alrededor de

este paso del proceso. Adicionalmente, se compararán las operaciones unitarias adicionales, y el tiempo de extracción, así como los reactivos usados para cada opción de procesamiento.



Se han analizado varios procesos de extracción de manano a partir de tagua, debido a la escasez de este compuesto en su forma pura. El primer paso en todos estos métodos es una extracción con solventes (etanol-acetona) para eliminación de grasas de la materia prima, para seguir con un tratamiento de clorito de sodio con el fin de eliminar la lignina. Posterior a cada tratamiento, se filtra y lava el polvo de tagua para continuar con una extracción alcalina. Otro proceso que comparten estos métodos es la acetilación después de la extracción con hidróxido de potasio. Los procesos empiezan a diferenciarse en la extracción alcalina y en la cristalización, como se observa en las figuras 3 y 4.



*Figura 4. Diagrama de bloque, proceso reportado por Chanzy et al*

En el método reportado por Meier se hacen 2 extracciones con KOH por un periodo de 12 h y luego de 24 h. Al concluir este paso, cada una de las extracciones se filtra, lava, centrifuga y liofiliza [26]; por otra parte, Chanzy realiza una extracción de 12 h con el mismo reactivo para después filtrar y lavar [24].

En la figura 3 se puede observar que existen dos extracciones con NaOH que tienen como pasos posteriores saturaciones con vapores de tetrametil úrea y ácido acético, respectivamente, además de una disolución con metilamina. Esto es a diferencia del diagrama de bloque presentado en la figura 4, en el que después de la acetilación se filtra y se disuelve en una solución de NaOH para un lavado final y posterior recolección del manano. Tomando en cuenta tanto las operaciones unitarias y los químicos necesarios para la obtención del producto final, se ha seleccionado el método desarrollado por Chanzy para la extracción del polisacárido; es decir, el proceso representado en la figura 4.

## **2.5. Ubicación**

La planta de Innovatagua está ubicada en la provincia de Imbabura en la Panamericana Norte, cerca de Atuntaqui, y cuenta con todos los permisos de uso de suelo, ambiental, ruido y vibraciones emitidos tanto por el Gobierno Provincial como por el municipio de Antonio Ante. Uno de los beneficios del establecimiento es el clima, el mismo que evita la proliferación y crecimiento de polillas que dañan la calidad de la tagua, además que por ser un lugar seco se puede almacenar el polvo de tagua sin riesgo de que la humedad eche a perder el producto.

## **2.6. Terminología**

*Picos:* pedazos de la semilla de tagua que se obtienen como desecho de la producción del botón.

*Deslignificación:* proceso de eliminación total o parcial de lignina de la madera o materia vegetal por tratamientos químicos o enzimáticos.

*Liofilización:* es un proceso en el que se elimina el agua de un producto que paso por una congelación y se coloca al vacío lo que permite que el hielo cambie de fase directamente de solido a vapor sin pasar por una fase liquida. El proceso tiene tres etapas: congelación, sublimación y desorción.

### **3. DISEÑO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE MANANO**

Como se mencionó en las secciones 1.1.1 y 1.1.2, la tagua es parte de la economía del país desde hace varias décadas y ha ido evolucionando, siendo usada en distintos proyectos de desarrollo e industrialización por lo que su comercialización, a diferencia de la tradicional (artesanías y botones), se basa en la venta de polvo. La transformación de la fracción remanente mencionada en la sección 1.1.2 representa una oportunidad de venta de un producto de valor agregado, sin dejar la producción de polvo granulado. El diseño del proceso propuesto en este proyecto parte del cálculo actual de que por cada tonelada de polvo listo para la venta se tiene como subproducto 250 kg de polvo fino con las características mencionadas anteriormente.

El proceso cuenta con 11 operaciones unitarias, de las cuales 4 son de lavado para evitar contaminación entre reactivos y la disminución del rendimiento en la extracción, 2 son de pretratamientos que se encargan del rompimiento de la pared celular, extracción de aceites y deslignificación para después realizar una extracción alcalina, y concluir con la cristalización que cuenta con 3 operaciones y una centrifugación para obtener el manano, como se puede observar en la figura 5.

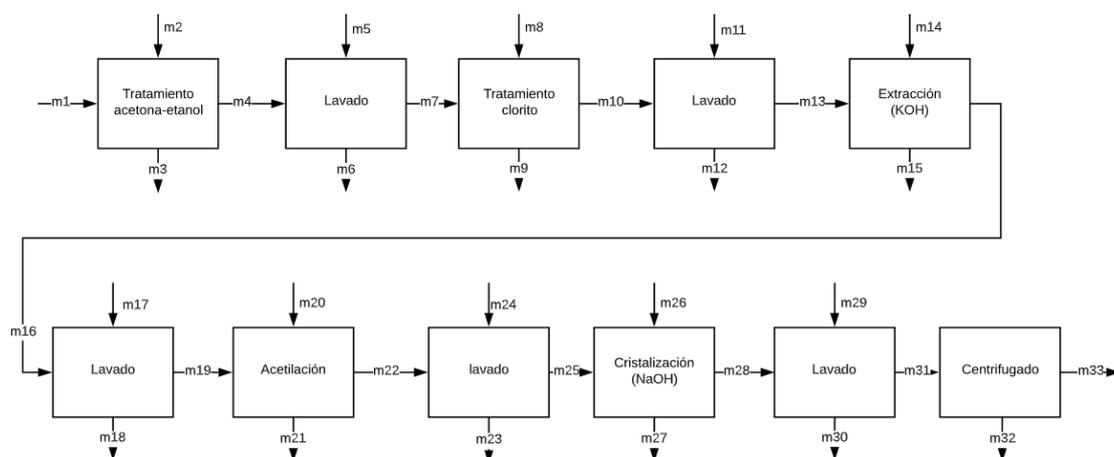


Figura 5. Diagrama de bloque con corrientes La información existente acerca de la extracción de manano a partir de tagua se basa en experimentaciones de laboratorio que se han desarrollado desde 1935, con la más reciente siendo del 2007, que sigue la metodología de varias investigaciones de mayor antigüedad. Para el desarrollo del proceso se planteó un escalamiento desde el laboratorio a escala industrial, basándose en la similitud con otros procesos conocidos, permitiendo de esta manera el cálculo tanto de solventes como reactivos de una forma más apropiada como se puede observar en la tabla 3 y el Anexo B.

Tabla 3. Cantidad de materia primaria necesaria.

<b>Materia</b>	<b>Cantidad [kg]</b>
Tagua	250
Acetona	147
Etanol	147,9375
Clorito de sodio	12
Ácido acético	42
Agua	3317,5
Anhídrido acético	51,84
NaOH	20
KOH	28,05

Con el balance de masa (Anexo C) se pudo determinar que la obtención de manano es del 67%, considerando las pérdidas existentes por cada operación unitaria y el rendimiento de las mismas. Se tomó en cuenta que este es un proceso por lotes cuyo ciclo de producción es de 48 horas y que los 250 kg de materia prima se obtienen cada 2 días laborables.

El pretratamiento de la tagua requiere de calentamiento: cuando se emplea acetona-etanol se necesita de 60 °C por 1 hora, mientras que el de clorito de sodio 70°C por 4 horas. Por esta razón, se consideró una chaqueta de calentamiento en lugar de un serpentín interno, debido a que se facilita la limpieza del tanque, además que proporciona un mejor coeficiente global de transferencia de calor con respecto a los serpentines externos [27]. Debido a las características de la tagua y por el proceso propuesto, se calculó la potencia necesaria para un agitador en el tanque considerando un fluido viscoso, que es como la tagua se comporta en un medio líquido sin o con poca agitación. Como parte final del proceso, es necesario realizar una centrifugación para quitar completamente el agua del manano, por lo que basándose en el balance de masa (anexo C) se pudo escoger de acuerdo a dichas necesidades, Los valores de la potencia necesaria para cada uno de estos equipos se registran en la tabla 4.

*Tabla 4. Potencia requerida por los equipos*

<b>Equipo</b>	<b>Potencia [kJ/s]</b>
Tanque	6,49
Caldera	9,56
Centrífuga	15
Columna de destilación	112,20

#### 4. DISEÑO DE LA PLANTA

El dimensionamiento de los equipos se basa en los caudales del balance de masa presentados en el anexo C y las cantidades materia prima a usar indicadas en la tabla 3 de la sección 3.1. Es importante mencionar que este proceso se lleva a cabo en un solo tanque principal con agitación debido a que después de cada lavado sería difícil el transporte del polvo a tanques separados. Por esta razón, se diseñó un tanque con terminal cónica a fin de poder filtrar todo el líquido después de cada operación unitaria como se puede observar en el diagrama de flujo presentado en la figura 6.

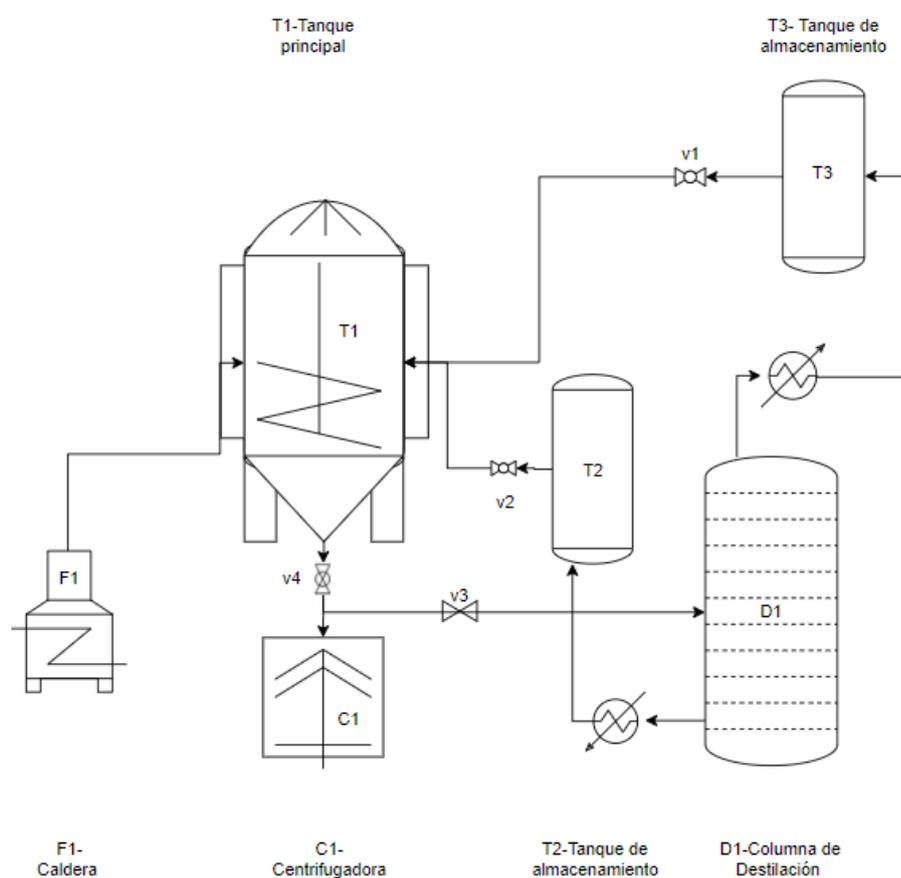


Figura 6. Diagrama de flujo del proceso

Siguiendo la metodología descrita en el anexo B se obtuvieron los datos de la tabla 5 para las dimensiones del tanque; además, se elige como material para su construcción el acero inoxidable debido a su resistencia a la corrosión, debido al uso del ácido acético, hidróxido de sodio y potasio principalmente.

*Tabla 5. Dimensiones tanque principal*

<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>	0,71
<b>Diámetro [m]</b>	0,84
<b>Altura [m]</b>	1,27
<b>Grosor de la pared [mm]</b>	7
<b>Grosos de terminales [mm]</b>	2

Para el calentamiento del tanque se requiere de una chaqueta de calentamiento, como se mencionó en la sección 3.1, y para el funcionamiento de esta se diseña una caldera que produce alrededor de 15,26 kg de vapor por hora, lo que suplente la necesidad de calentamiento del tanque en cada etapa.

Es necesario el dimensionamiento de tanques de almacenamiento para los solventes en acero inoxidable ya que en el proceso se definió una recuperación de los mismos por medio de una columna de destilación que permitirá la separación de etanol y acetona. Además, se realizó el cálculo de tanques para el almacenamiento de los demás reactivos para un mejor manejo y control de los mismos. En la siguiente tabla se presentan las dimensiones de los equipos necesarios para todo el proceso.

*Tabla 6. Dimensiones equipos adicionales*

	<b>Capacidad</b>	<b>Dimensiones</b>
Tanques PE [L]	56,37	380 x 571 [mm] (d x h)
Tanques a. inox. [L]	422	0,750 x 1125 [mm] (d x h)
Columna de destilación [L]	123	310 x 1709 [mm] (d x h)
Centrifugadora [kg]	400	2640 x 1850 x 1100 [mm] (L x b x h)

La comercialización de manano puro es muy escasa y en la actualidad se ve un aumento en el interés por el uso del mismo debido a su versatilidad. Por este motivo, se plantea realizar un análisis del comportamiento del mercado una vez que el producto salga a la venta. Variaciones en del caudal de producción son muy viables, lo que representaría la posible eliminación en la venta de la fracción de partículas de 125 a 177  $\mu\text{m}$ , considerando un 70 % de incremento en el caudal de polvo de tagua que se puede producir en este proceso. En la tabla 7 se pueden encontrar los valores de dimensionamiento para este caso.

*Tabla 7. Dimensiones tanque para expansión*

<b>Volumen [m3]</b>	1,16
<b>Diámetro [m]</b>	0,99
<b>Altura [m]</b>	1,49
<b>Grosor de la pared[mm]</b>	7,00

## 5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico de la planta se hace en base a los datos reportados en las tablas 3 y 4 de la sección 3.2 y con la metodología detallada en el anexo B, donde se indica cómo realizar un análisis de costos por medio de los métodos de Lang, Hand y factorial detallado. Además, se especifican los costos de producción, capital de trabajo, y la inversión de capital fijo necesarios para la implementación y puesta en marcha de la planta, así como la estimación del tiempo de retorno de la inversión

### 5.1. Costo de la planta

La estimación de costos de los equipos se realizó usando la metodología detallada en el anexo B. Para la estimación, se hizo un ajuste a los factores de instalación de Hand y Lang para lograr una evaluación más realista basándose principalmente en el tamaño de la industria y los procesos a realizar. Se hizo el cálculo tanto con los factores de la literatura [28] como los planteados como se puede ver en el anexo C.

La estimación de los costos de la planta se realizó de tres formas. En primer lugar, por el método de Hand quien planteó que se obtiene una mejor aproximación si se da un valor a cada equipo incluido en el proceso. Por otro lado, el método de Lang basa su análisis a partir del costo de los equipos principales en función al tipo de procesamiento, ya sea que se trate líquidos, sólidos, o una mezcla. Por último, el método factorial detallado incluye factores como el tipo de material, instalación, instrumentación del equipo, entre otros. La comparación de los métodos con respecto al cálculo de los costos internos se puede ver en la tabla 8.

*Tabla 8. Comparación ISBL entre métodos*

Método	Costo ISBL [USD \$]
Lang	\$64.399,81
Hand	\$67.764,77

Método factorial detallado	\$45.413,08
----------------------------	-------------

Para el cálculo de inversión de capital fijo se determinó la intersección entre los métodos anteriormente mencionados. Esto que permite una mejor aproximación de los costos internos (ISBL), es decir, el valor de la planta en sí, como son las obras civiles, los trabajos de instalación y los equipos principales; además de los costos externos (OSBL), gastos imprevistos, costos de ingeniería y construcción, como se resume en la tabla 9.

*Tabla 9. Resumen Inversión de Capital Fijo*

<b>Inversión de capital fijo</b>	
ISBL	\$64.399,81
OSBL	\$25.759,92
Costos de ingeniería	\$27.047,92
Imprevistos	\$ 9.015,97
Capital fijo	\$90.159,73

El cálculo de los costos de producción se realiza a partir de los costos variables como son las materias primas, servicios auxiliares, embalaje, luz, transporte, y los costos fijos en los que se incluye el número de empleados para la operación del proceso, en este caso se consideraron 3 personas, además de gastos de mantenimiento, entre otros. En este análisis se pudo estimar el costo total de costos de producción en USD \$ 16,62 por kg de manano.

*Tabla 10. Resumen Costos de Producción*

<b>Costo de producción</b>	
Costo variable	\$8.289,44
Costo fijo	\$ 14.046,04
<b>Total</b>	<b>\$22.335,48</b>

Es necesario considerar un presupuesto para la puesta en marcha de la planta y operación de la misma hasta generar ingresos, adicional al valor que se planea para la construcción; esto constituye el capital de trabajo, y su cálculo se realizó con la estimación de las materias primas necesarias para el proceso detallado en el anexo C.

*Tabla 11. Resumen Capital de Trabajo*

<b>Capital de trabajo</b>	
Valor de inventario de materias primas	\$4.114,72
Valor de inventario de productos	\$11.167,74
Efectivo en caja	\$5.583,87
Cuentas por cobrar	\$22.335,48
Inventario de repuestos	\$828,70
<b>Total</b>	<b>\$44.030,51</b>

La estimación del flujo de caja, es decir el balance neto entre los ingresos y los egresos de la planta, se calculó con los ingresos de venta del producto, menos los costos de producción, en los que se obtienen los siguientes datos. Los cálculos detallados se indican en el Anexo C.

*Tabla 12. Valores flujo de caja*

<b>Ingreso</b>	<b>Valor</b>
Ingreso por ventas	\$53.760
Beneficio Bruto	\$31.425
Beneficio Neto	\$30.832,59

## 5.2. Recuperación de la inversión y análisis precio de venta

Por último, se estimó el tiempo requerido para la recuperación de la inversión, considerando que el primer año por análisis e investigación de mercado solo se vende el 50 % de la producción total anual. Se especificó un tiempo de vida de la planta de 10 años. Además, se hizo el análisis considerando 2 precios de venta, de \$35 y \$40 por kg de manano. En la tabla 13 se puede observar la comparación del valor actual neto, la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación.

*Tabla 13. Comparación con respecto a distintos precios*

Precio	<b>\$40/kg</b>	<b>\$35/kg</b>
VAN	\$1.811.394,3	\$1.372.811,0
TIR	6	1
Tiempo de retorno [años]	153%	120%
	1,43	1,78

## 6. CONCLUSIONES

Para el desarrollo de este proyecto se realizó el estudio de factibilidad de la ampliación de una planta de procesamiento de polvo de tagua que tiene como subproducto de su proceso final una fracción de polvo con partículas menores a 105  $\mu\text{m}$  que actualmente no es comercializada y puede aprovecharse para la extracción de manano. Se conoce que la tagua está compuesta casi en un 90% en peso por manano lineal puro y este polisacárido es una variedad que no se encuentra comúnmente en la naturaleza, a diferencia del galactomanano o el glucomanano. Este compuesto ha adquirido interés en la industria por la versatilidad de su uso, tanto en cosmética, farmacéutica y alimentos, además que comercialmente se encuentra con un precio de alrededor de USD \$30 por gramo. Para esta propuesta de ampliación se procesarán 250 kg de polvo remanente por lote, lo que producirá 1349 kg mensuales de manano puro al 95%, que representaría un ingreso de USD \$53.760 con un precio de venta de USD \$40 por kg.

Para la extracción de manano se diseñó un proceso tomando en cuenta las operaciones unitarias, los reactivos necesarios y el tiempo de operación por lote. El proceso seleccionado tiene cinco operaciones unitarias menos que los procesos investigados, evitando el uso de reactivos como tetrametil urea, metilamina y una saturación de vapores con ácido acético, lo que representa una reducción tanto en los costos de materias primas como de inversión.

En la selección de los equipos para la planta se decidió el diseño de un solo tanque principal para todo el proceso debido a la dificultad de transporte del polvo por cambio de tanque. Adicionalmente, se diseñaron una columna de destilación para regeneración de los solventes usados y los tanques de almacenamiento necesarios para los reactivos, además de una centrifugadora necesaria para la etapa final de obtención del manano.

En el análisis económico se hizo una estimación de costos por distintos métodos, considerando una modificación a los factores de instalación en la literatura para una estimación más real. El cálculo de costos de capital fijo, capital de trabajo y costos de producción se realizó con la intersección de dichas estimaciones. Es importante mencionar que al ser las estimaciones teóricas se puede considerar un factor de seguridad más amplio con respecto a la inversión comparada con una estimación de precios reales en base a cotizaciones y convenios de compra. Además, en el proceso se considera la regeneración de solventes lo que permite un ahorro que no se tomó en cuenta al momento de realizar la estimación. Se elaboró un análisis detallado considerando distintos precios de venta USD \$35 y \$40 donde se estimó un TIR de 120 % y 153% respectivamente. Se eligió un precio de venta del producto final de \$40 debido a la oferta internacional. En este caso se obtuvo un tiempo de retorno de 1,42 años y un valor actual neto de \$1.811.386,58. Llevar a cabo este proyecto tendrá un impacto económico ya que se aprovechará por completo toda la materia prima que en la actualidad se considera residuo. El manano tiene un valor económico mayor en comparación al producto que actualmente se comercializa. Además, se debe considerar que de esta forma se puede eliminar el espacio de almacenamiento usado en la planta y los gastos de conservación del mismo.

## 7. REFERENCIAS

- [1] G. Brokamp, H. Borgtoft Pedersen, R. Montúfar, J. Jácome, M. Weigend, and H. Balslev, “Productivity and management of *Phytelephas aequatorialis* (Arecaceae) in Ecuador,” *Ann. Appl. Biol.*, vol. 164, no. 2, pp. 257–269, 2014.
- [2] A. Barfod, *A monographic study of the subfamily Phytelephantoideae (Arecaceae)*, vol. 105. 1991.
- [3] M. J. Koziol and H. B. Pedersen, “*Phytelephas aequatorialis* ( Arecaceae ) in Human and Animal Nutrition Author ( s ): Michael J . Koziół and Henrik Borgtoft Pedersen Published by: Springer on behalf of New York Botanical Garden Press Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/4255549> PHYTE,” vol. 47, no. 4, pp. 401–407, 2010.
- [4] J. V. Runk, “Productivity and sustainability of a vegetable ivory palm (*Phytelephas aequatorialis*, Arecaceae) under three management regimes in northwestern Ecuador,” *Econ. Bot.*, vol. 52, no. 2, pp. 168–182, 1998.
- [5] A. S. Barfod, “The Rise and Fall of Vegetable Ivory,” no. January 1989, 1989.
- [6] A. S. Barfod, “The rise and fall of vegetable ivory,” *Principes*, vol. 33, no. 4, pp. 181–190, 1989.
- [7] A. C. Alvarado, “La tagua gana popularidad en el exterior | El Comercio,” *El Comercio*, 2018.
- [8] A. Sluiter *et al.*, “Determination of Ash in Biomass,” *Biomass Anal. Technol. Team Lab. Anal. Proced.*, no. January, pp. 1–6, 2004.
- [9] “Los micro-plásticos en cosmética y productos de higiene personal - Bio Eco Actual.” [Online]. Available: <https://www.bioecoactual.com/2018/03/18/micro->

- plasticos-cosmetica/. [Accessed: 06-Aug-2020].
- [10] L. R. S. Moreira and E. X. F. Filho, “An overview of mannan structure and mannan-degrading enzyme systems,” *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 79, no. 2, pp. 165–178, 2008.
- [11] S. Y. Yildiz and E. T. Oner, “Chapter 9: Mannan as a promising bioactive material for drug nanocarrier systems,” *Appl. Nanotechnol. Drug Deliv.*, pp. 311–342, 2014.
- [12] A. Femenia, *High-value co-products from plant foods: Cosmetics and pharmaceuticals*, vol. 1. Woodhead Publishing Limited, 2007.
- [13] S. Singh, G. Singh, and S. K. Arya, “Mannans: An overview of properties and application in food products,” *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 119, pp. 79–95, 2018.
- [14] T. Song, A. Pranovich, and B. Holmbom, “Separation of polymeric galactoglucomannans from hot-water extract of spruce wood,” *Bioresour. Technol.*, vol. 130, pp. 198–203, 2013.
- [15] T. TIMELL, “VEGETABLE IVORY AS A SOURCE OF MANNAN POLYSACCHARIDE,” 1957.
- [16] M. Yamabhai, S. Sak-Ubol, W. Srila, and D. Haltrich, “Mannan biotechnology: From biofuels to health,” *Crit. Rev. Biotechnol.*, vol. 36, no. 1, pp. 32–42, 2016.
- [17] ARIANDI, YOPI, and A. N. J. A. MERYANDINI, “Enzymatic Hydrolysis of Copra Meal by Mannanase from *Streptomyces* sp. BF3.1 for The Production of Mannooligosaccharides,” *HAYATI J. Biosci.*, vol. 22, no. 2, pp. 79–86, 2015.
- [18] X. Hu, Y. Shi, P. Zhang, M. Miao, T. Zhang, and B. Jiang, “d-Mannose: Properties, Production, and Applications: An Overview,” *Compr. Rev. Food Sci.*

- Food Saf.*, vol. 15, no. 4, pp. 773–785, 2016.
- [19] J. Li, J. Shi, and M. Li, “Application Data ( 60 ) Provisional application No. 62 / 425,” 2016.
- [20] “Mannan (Ivory Nut).”
- [21] “Mannan polysaccharide (Ivory Nut or Tagua) - 1.4-beta-D-Mannan.” [Online]. Available: <https://www.elicityl-oligotech.com/mannan/593-mannan-polysaccharide-ivory-nut-or-tagua---1-4-beta-d-mannan.html>. [Accessed: 13-Oct-2020].
- [22] “(No Title).” [Online]. Available: [https://www.megazyme.com/documents/Safety\\_Data\\_Sheet/Reach/SDS-ES/P-MANIV\\_SDS-ES.pdf](https://www.megazyme.com/documents/Safety_Data_Sheet/Reach/SDS-ES/P-MANIV_SDS-ES.pdf). [Accessed: 13-Oct-2020].
- [23] “Ivory nut mannan.” [Online]. Available: <https://www.dextrauk.com/products/polysaccharides/neutral-polysaccharides/product/363-ivory-nut-mannan>. [Accessed: 13-Oct-2020].
- [24] H. Chanzy, M. Dube, and C. De Recherches, “Single Crystals and Oriented Crystallization of Ivory Nut Mannan,” vol. 18, pp. 887–898, 1979.
- [25] Norma, “REGLAMENTO CONTROL SUSTANCIAS SUJETAS A FISCALIZACION Y MEDICAMENTOS,” 2009.
- [26] S. F. P. R. L. Meier, Hans (Wood Chemistry Department, “On te struture of cell walls and cell wall mannans from ivory nuts and form dates,” *Biochim. Biophys. Acta*, vol. 28, pp. 229–240, 1958.
- [27] W. Rosero, “CÁLCULO Y DISEÑO DE PLANTA PILOTO PARA LA OBTENCIÓN DE FORMIATO DE POTASIO COMO FLUIDO DE

- PERFORACIÓN,” Universidad Central del Ecuador, Quito, 2015.
- [28] G. Towler and R. A. Y. Sinnott, *Chemical Engineering Design*. 2013.
- [29] F. Piccinno, R. Hischer, S. Seeger, and C. Som, “From laboratory to industrial scale: a scale-up framework for chemical processes in life cycle assessment studies,” *J. Clean. Prod.*, vol. 135, pp. 1085–1097, 2016.
- [30] F. J. Pérez, U. Tutora, M. Custodia, and F. Baco, “Proyecto Fin de Grado Ingeniería Química Escalado de una torre de Absorción,” 2016.

## 8. ANEXOS

### 8.1. Anexo A: Información relevante

#### 8.1.1. Tagua



Ilustración 1. Semilla de tagua con corteza

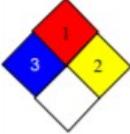


Ilustración 2. Tagua pulida, lista para exportación

#### 8.1.2. Fichas de seguridad para reactivos usados en el proceso

Anexo 1. Seguridad de reactivos

Reactivo	Seguridad	Afecciones
Hidróxido de sodio		Corrosivo, higroscópico, reacciona con agua. Causa quemaduras a la piel y ojos, además de irritación al tracto respiratorio y digestivo
Hidróxido de potasio		Corrosivo. Causa quemaduras a la piel y ojos, puede destruir tejidos.

Etanol		El contacto prolongado puede causar irritación de ojos y tracto respiratorio.
Acetona		Irritación de piel, ojos, nariz y garganta, puede causar tos, dolor de cabeza y mareo .
Clorito de sodio		Tóxico por inhalación y contacto con la piel, produce quemaduras, evitar el contacto con productos inflamables, ácidos y orgánicos
Ácido acético		Puede generar irritación y quemaduras por contacto, utilizar protección adecuada para vías respiratorias y piel
Anhidrido acético		Corrosivo, inhalación puede causar irritación del tracto respiratorio y ojos, además de quemaduras severas en la piel.

## **8.2. Anexo B: Metodologías**

### **8.2.1. Balance de masa**

Considerando que el rendimiento del proceso de pre- tratamiento con acetona-etanol es de 95% y el del clorito de sodio es de 80% [26], se podrá conocer la cantidad de producto final a partir de la materia prima principal (polvo de tagua).

Para el diseño de la planta se necesario tomar en cuenta las siguientes actividades.

1. Diagrama de bloque por cada operación unitaria
2. Identificar las variables conocidas
3. Mencionar valores conocidos de composición y determinar la base de calculo
4. Identificar las variables desconocidas
5. Determinar el número de grados de libertad para cada operación unitaria y el proceso en general.
6. Verificar si es posible resolver los balances con respecto a los grados de libertad, es decir, si el número de variables desconocidas es igual al número de ecuaciones independientes
7. Resolver ecuaciones

Para el dimensionamiento del proceso se debe tomar en cuenta, que los procesos desarrollados son de laboratorio por lo que se ha establecido una forma de escalamiento industrial [29].

## Anexo 2. Escalamiento de operaciones

Laboratory scale process	Scaled-up process according to framework
Reaction under heating	Heated liquid batch reaction in an insulated batch reactor with an in-tank stirrer
Mixing (magnetic stirrer) Dispersing	In-tank stirring
Blending Mixing (viscous solution) Homogenizing (all types) Dispersing	Rotor-stator type homogenizer
Pestling in mortar Grinding/milling Other particle size reduction	Grinding
Filtration (e.g. membrane, reverse osmosis, dialysis) Sieving Centrifugation/cyclonic separation Other solid-liquid separation	Filtration/centrifugation
Distillation (Rotary evaporation)	Distillation
Vacuum drying Drying Rotary evaporation	(Oven) drying/vaporization
(Manual) Transferring of liquids	Pumping
Waste disposal	Pre-treatment (case specific) Solvent recycling – distillation Solvent recycling – filtration Co- and by-product isolation
Normally not included in laboratory process	Heat recovery through heat exchangers

## Factor de escalamiento [30]

## Anexo 3. Factor de escalamiento

Proceso	Escala de operación		Relación de escala	
	Laboratorio	Planta piloto	Laboratorio a planta piloto	Planta piloto a comercial
Reactivos líquidos productos sólidos o líquidos viscosos	0,005-0,2	1-20	20-200	20-250
Reactivos sólidos, productos sólidos	0,10-1	10-200	10-100	10-200

**8.2.2. Balance de energía**

1. Identificar los equipos donde hay intercambio de energía
2. Determinar la cantidad de energía necesaria para cada operación
3. Calcular el costo energético (kWh)

**8.2.3. Diagrama de flujo**

Este diagrama se realiza colocando la simbología representativa para cada una de las operaciones unitarias necesarias para realizar el proceso. En este se debe incluir los

nombres (identificación) de cada equipo además de presiones, temperaturas, servicios y flujos de las corrientes que intervienen en el proceso.

#### 8.2.4. Diseño de Equipos

1. Seleccionar volumen de operación de cada equipo y material en el que debe ser construido

- a. Definir caudales en cada equipo
- b. Realizar el dimensionamiento de cada proceso

#### 2. Tanque

- a. Calcular el volumen total del tanque

$$V = \frac{1.3 * \pi * d^3}{4}$$

- b. Calcular el volumen final de los tanques después del factor de seguridad de sobredimensionamiento
- c. Determinar el espesor del tanque

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

*S: esfuerzo maximo permisible*

*tw: espesor de pared*

*Di: diametro interno*

*Pi: presion interna del tanque*

*E: efectividad de soldadura*

- d. Masa de un tanque

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

*\rho: densidad*

- e. Espesor de la pared para los terminales cónicos del tanque

$$tw = \frac{Pi Di}{2 \cos \alpha (SE - 0.6 Pi)}$$

*Di: diametro interno*

*S: esfuerzo maximo permisible*

$E$ : soldadura

$P_i$ : presión interna

f. Para determinar el diámetro del agitador

$$D_a = \frac{D_{\text{tanque}}}{3}$$

g. Potencia del agitador

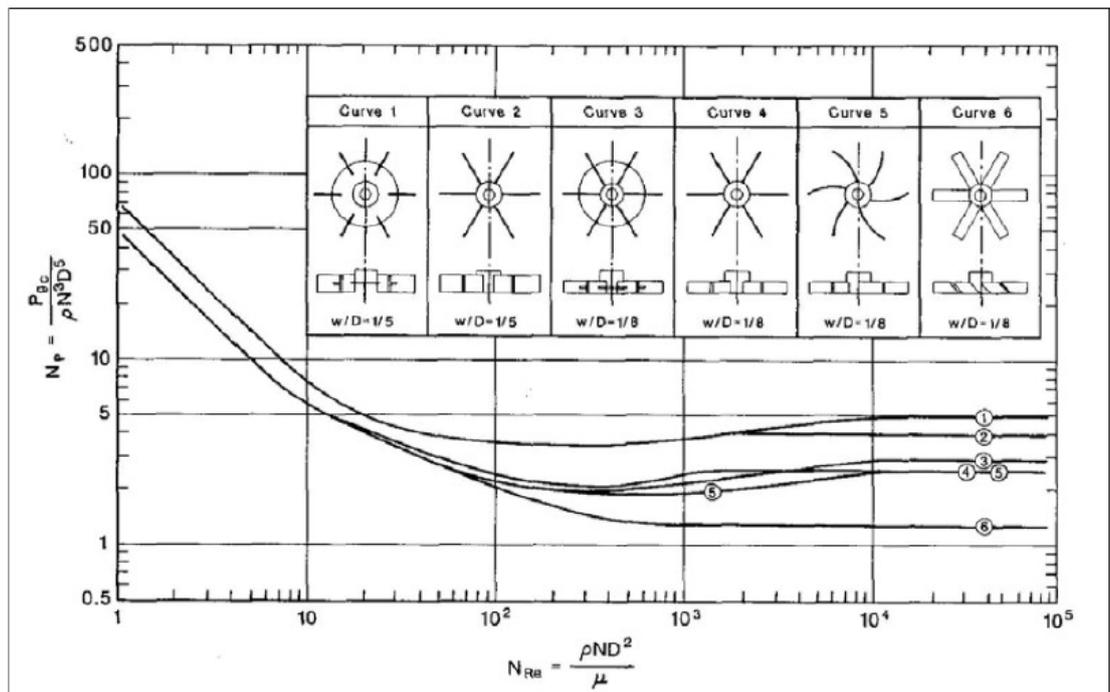
$$P = N_p * \rho_{\text{bulk}} * N^3 * D_a^5$$

$N_p$ : Número de potencia

$N$ : velocidad de rotación

$D_a$ : diámetro de agitador

Para calcular el número de potencia, es necesario obtener el número de Reynolds de la mezcla



Anexo Gráfico 1. Potencia para agitador

h. En este tratamiento es necesario subir la temperatura hasta  $70^{\circ}\text{C}$  por lo que el área de la chaqueta térmica

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

### 3. Tanque de almacenamiento de solventes:

Se toma en cuenta el procedimiento del punto 2.

La diferencia en este tanque es la terminal, para este caso se considera una plana y no una cónica

$$tw = De \sqrt{\frac{C Pi}{SE}}$$

*De* : diametro interno

*C* : constante 0,1

*Pi* : presion interna

### 4. Columna de destilación

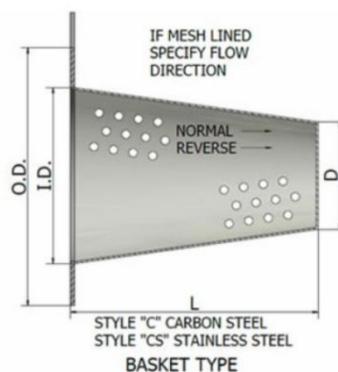
Para el diseño de este equipo se plantea realizar la simulación en Aspen Hysys.

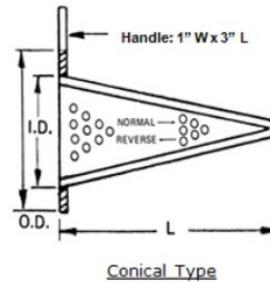
El primer paso es seleccionar el paquete termodinámico con las características correctas para el buen funcionamiento del evaporador.

Se debe definir las condiciones y corrientes de entrada y de salida y las condiciones para el funcionamiento de la columna

### 5. Filtro

Este filtro será usado en el tanque con fondo cónico por lo que se buscó un filtro cónico de la empresa *Filsonfilter*, y para la selección debe considerarse cada uno de los diámetros





Anexo Gráfico 2. Filtro conico

### 8.2.5. Análisis económico

#### 1. Costo de los equipos

Determinar el costo de cada equipo a partir de los factores de la tabla 6.3 del libro de Sinnott

$$C_e = A + BS^n$$

#### 2. Calcular la estimación de costos con el método de Lang

- a. Seleccionar el tipo de proceso para definir con el factor
- b. Sumar los costos de cada proceso y multiplicar

#### 3. Calcular la estimación con el método de Hand

- a. Seleccionar el factor de material para los equipos
- b. Seleccionar el factor dependiendo de cada equipo
- c. Multiplicar el costo del equipo por el factor y el factor de Hand

#### 4. Estimación de costos según el método factorial detallado

- a. Seleccionar el factor del material para los equipos
- b. Tipo de procesamiento
- c. Multiplicar el costo de los equipos con los factores antes determinados

Encontrar el costo promedio que se obtiene en el solapamiento con el método de Lang y Hand.

Estimar el costo OSBL

$$\text{costo OSBL} = 40\% \text{ ISBL}$$

$$\text{costo de ingeniería} = 30\% (\text{ISBL} + \text{OBSL})$$

$$\text{imprevistos} = 10\% (\text{ISBL} + \text{OSBL})$$

## 5. Costo de producción

- a. Se realiza a partir del cálculo de materias primas en un periodo en los que se incluye electricidad y transporte
- b. Costo de producción fijo
  - i. Operación= salario del personal (anualmente)
  - ii. Supervisión= 25% de labor de operación
  - iii. Gastos salariales= 40% (labor de operación + supervisión)
  - iv. Mantenimiento = 3% ISBL
  - v. Gastos generales= 65% (labor de operación + supervisión)

## 6. Ingresos de la planta

- a. Margen bruto= venta de productos – materias primas
- b. Beneficio bruto= venta de productos – costos de producción
- c. Beneficio neto = beneficio bruto- impuestos

## 7. Recuperación del capital

- a.  $\text{tiempo de recuperación} = \frac{\text{inversion total}}{\text{flujo de caja neto}}$
- b. Determinar viabilidad de proyecto

## 8. Cálculo de VAN y TIR

- a. Determinar la depreciación de los bienes
- b. Cálculo de VAN y TIR

### 8.3. Anexo C: Cálculos

#### 8.3.1. Balance de Masa

Anexo 4. Balance de masa

<i>Corriente</i>	<b>m1</b>	<b>m2</b>	<b>m4</b>
<b>Tagua</b>	250		
<b>Alcohol</b>		294,9375	
<b>Tagua tratada</b>			264,746875
	<b>m7</b>	<b>m8</b>	<b>m9</b>
<b>Tagua después del primer lavado</b>	245		
<b>Clorito</b>		100,4	
<b>Tagua d. clorito</b>			197,004
	<b>m12</b>	<b>m14</b>	<b>m16</b>
<b>Tagua después 2L</b>	194,04894		
<b>KOH</b>		370,91	
<b>Tagua d extracción</b>			196,787795
	<b>m19</b>	<b>m20</b>	<b>m22</b>
<b>Tagua después 3L</b>	193,835978		
<b>Acetilación</b>		150,437408	
<b>Tagua d acetilación</b>			201,357849
	<b>m25</b>	<b>m26</b>	<b>m28</b>
<b>Tagua después L4</b>	191,289956		
<b>NaOH</b>		378	
<b>Tagua d. NaOH</b>			188,420607
	<b>m31</b>	<b>m33</b>	
<b>Tagua después L5</b>	210,911401		
<b>Centrifugación</b>		168,729121	

#### 8.3.2. Dimensionamiento

##### 8.3.2.1. Tanque principal

Anexo 5. T1 datos

<b>Datos del Tanque</b>	
Tagua [kg]	250
Densidad de tagua [kg/m <sup>3</sup> ]	1200
Volumen de tagua	0,208
Volumen de mezcla [m <sup>3</sup> ]	0,591

Dimensiones tanque

Anexo 6. Dimensiones T1

Diámetro i [m]	0,844
Altura [m]	1,266
Volumen del tanque [m <sup>3</sup> ]	0,709

## Espesor y Masa del tanque

Anexo 7. Espesor y masa T1

E. pared [mm]	7,0
E terminal cónica[mm]	2,0
E cabezal [mm]	2,0
Masa total [kg]	219,76
Pi [N/mm <sup>2</sup> ]	0,129
S [N/mm <sup>2</sup> ]	15

Espesor del tanque incluido los 2 mm de factor de seguridad

## Agitador

Anexo 8. Datos agitador

Da [m]	0,281
W[m]	0,0352
L[m]	0,0704
J[m]	0,0704
Re	517,869
Np	1,3
Potencia real [w]	6486,85

## Chaqueta

Anexo 9. Dimensiones de Chaqueta de calentamiento

Área [m <sup>3</sup> ]	1,344
Grosor [m]	0,0134

## 8.3.2.2. Dimensionamiento tanques de almacenamiento

### Dimensiones del tanque acero inoxidable

Anexo 10. Dimensiones tanque de almacenamiento solventes

Diámetro i [m]	0,750
Altura [m]	1,125
Volumen del tanque m3	0,497

### Espesor del tanque

Anexo 11. Espesor tanque almacenamiento

Pi [N/mm <sup>2</sup> ]	0,121
S [N/mm <sup>2</sup> ]	19
E. terminales [mm]	0,007
E. pared [mm]	2,00

### Dimensiones tanques de reactivos

Anexo 12. Dimensionamiento tanque PE

Diámetro i [m]	0,381
Altura [m]	0,571
Volumen del tanque m <sup>3</sup>	0,065

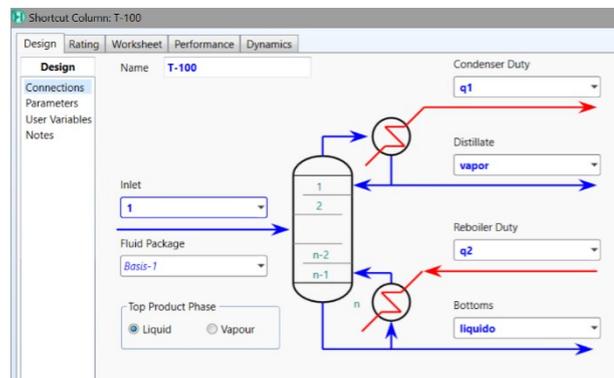
Espesor del tanque

Anexo 13. Espesor tanque PE

Pi [N/mm <sup>2</sup> ]	0,125
S [N/mm <sup>2</sup> ]	12,9
E. tanque [mm]	2,00

### 8.3.3. Dimensionamiento columna de destilación

Anexo 14. Conexiones Shortcut Column Hysys



Anexo 15. Composición de las corrientes

	1	vapor	liquido
Conditions	Acetone	0.4423	0.9000
Properties	Ethanol	0.5577	0.1000
Composition			0.9000

Anexo 16. Parámetros de operación

Component	Mole Fraction
Acetone	0.1000
Ethanol	0.1000

Pressures

Condenser Pressure	101.325 kPa
Reboiler Pressure	101.325 kPa

Reflux Ratios

External Reflux Ratio	3.300
Minimum Reflux Ratio	2.203

## Anexo 17. Número de platos de la columna

Shortcut Column: T-100				
Design	Rating	Worksheet	Performance	Dynamics
<b>Performance</b>				
Trays				
Minimum Number of Trays			4.620	
Actual Number of Trays			8.609	
Optimal Feed Stage			4.536	
Temperatures				
Condenser [C]			57.06	
Reboiler [C]			72.62	
Flows				
Rectify Vapour [kgmole/h]			35.812	
Rectify Liquid [kgmole/h]			27.483	
Stripping Vapour [kgmole/h]			16.350	
Stripping Liquid [kgmole/h]			27.483	
Condenser Duty [kl/h]			-1084249.063	
Reboiler Duty [kl/h]			403915.036	

## Datos columna

## Anexo 18. Datos de columna

Q[BTU/h]	3,83E+05
D[m]	1,045
Distancia entre platos [m]	7,48
Número de platos	9
Altura de Columna [m]	1,70
Altura final de columna[m]	1,966

## Espesor y masa

## Anexo 19. Espesor de columna

Pi[N/mm <sup>2</sup> ]	0,128
S	19
E. tanque [mm]	2,00
E. terminales [mm]	
Masa total [kg]	30,95

## 8.3.4. Estimación de costos

## Costo de equipos

## Anexo 20. Estimación de costos de equipos necesarios para el proceso

Equipo	Ce	a	b	S	n	Cantidad	Ce total
Agitador	17939,056	11000	420	6,48	1,5	1	\$17.939,06
Tanque principal	-764,89	-15000	560	219,76	0,6	1	\$ -764,89
Filtro	35					1	\$ 35,00
Tanque de solventes	6088,52	5700	700	0,43	0,7	2	\$12.177,03
Tanque de reactivos	5793,51	5700	700	0,056	0,7	3	\$17.380,52
Caldera	5148,57	4600	62	15,26	0,8	1	\$ 5.148,57
Centrifugadora	2000					1	\$ 2.000,00
Columna	-5295,08	-10000	600	30,95	0,6	1	\$ -5.295,09
Platos	112,19	100	120	0,318	2	9	\$ 1.009,74

Reboiler	14830	14000	83	10	1	1	\$14.830,00
Condensador	10880	10000	88	10	1	1	\$10.880,00

### Comparación métodos factoriales literarios y modificados

Anexo 21. Estimación con Método factorial detallado

Equipo	Ce	f material	f instalación	f total	Ce total
Agitador	17939,0562	1	0,5	1,5	\$26.908,58
Tanque principal	-764,89496	1,3	0,5	1,8	\$ -1.376,81
Filtro	35	1	0,5	1,5	\$ 52,50
Tanque de solventes	6088,51556	1,3	0,3	1,6	\$ 9.741,62
Tanque de reactivos	5793,50728	1	0,6	1,6	\$ 9.269,61
Caldera	5148,57412	1	0,3	1,3	\$ 6.693,15
Centrifuga	2000	1	0,3	1,3	\$ 2.600,00
Columna	-5297,2334	1,3	0,3	1,6	\$ -8.475,57
Platos	112,193126	1,3	0,3	1,6	\$ 179,51
Reboiler	14830	1	0,3	1,3	\$19.279,00
Condensador	10880	1	0,5	1,5	\$16.320,00

Anexo 22. Estimación método Hand y Lang con factores de literatura y modificados

Factor modificado de Lang	Costo Lang modificado	Factor de Lang	Lang	Factores Hand	Costo Hand	Factores modificados Hand	Hand modificado
0,9	\$ 16.145,15	3,36	\$ 60.275,23	2,5	\$ 44.847,64	0,8	\$ 14.351,24
0,9	\$ -688,41	3,36	\$ -	4	\$ -3.059,58	1	\$ -764,89
0,9	\$ 31,50	3,36	\$ 117,60	2,5	\$ 87,50	0,8	\$ 28,00
1	\$ 12.177,03	5	\$ 60.885,16	2,5	\$ 30.442,58	0,8	\$ 9.741,62
0,8	\$ 13.904,42	3	\$ 52.141,57	2,5	\$ 43.451,30	0,8	\$ 13.904,42
1	\$ 5.148,57	5	\$ 25.742,87	2,5	\$ 12.871,44	0,8	\$ 4.118,86
0,9	\$ 1.800,00	3,36	\$ 6.720,00	3,5	\$ 7.000,00	0,9	\$ 1.800,00
1	\$ -5.295,09	5	\$ -	4	\$ -21.180,35	1	\$ -5.295,09
1	\$ 1.009,74	5	\$ 5.048,69	2,5	\$ 2.524,35	0,8	\$ 807,79
1	\$ 14.830,00	5	\$ 74.150,00	4	\$ 59.320,00	1	\$ 14.830,00
0,8	\$ 8.704,00	3,36	\$ 36.556,80	4	\$ 43.520,00	1	\$ 10.880,00
	\$ 67.766,92		\$ 292.592,43		\$ 219.824,87		\$ 64.401,95

## Costos

Anexo 23. Estimación Capital fijo

<b>Inversión de capital fijo</b>	
	\$
<b>ISBL</b>	64.401,95
	\$
<b>OSBL</b>	25.760,78
	\$
<b>Costos de ingeniería</b>	27.048,82
	\$
<b>Imprevistos</b>	9.016,27
	\$
<b>Capital fijo</b>	90.162,74

Anexo 24. Estimación y componentes capital de trabajo

<b>Capital de trabajo</b>	
valor de inventario de materias primas	\$ 4.114,72
valor de inventario de productos	\$ 11.167,77
efectivo en caja	\$ 5.583,89
cuentas por cobrar	\$ 22.335,55
inventario de repuestos	\$ 828,72
total	\$ 44.030,64

## Comparación de precios de venta y tiempo de recuperación

Anexo 25. Flujo de caja comparando 3 precios para el mercado

	<b>\$40</b>	<b>\$35</b>	<b>\$30</b>
Ingreso por ventas	\$53.760	\$47.040	\$40.320
Beneficio Bruto	\$31.424	\$24.704	\$17.984
Beneficio Neto	\$ 30.832,51	\$ 24.704,45	\$17.984,45

Anexo 26. Flujo efectivo

<b>Año</b>	<b>\$40</b>	<b>\$35</b>	<b>\$30</b>
0	\$ -118.809,67	\$ -118.809,67	\$ -118.809,67
1	\$54.533	\$14.213	<b>\$-26.107</b>
2	\$377.093	\$296.453	\$215.813
3	\$377.093	\$296.453	\$215.813
4	\$377.093	\$296.453	\$215.813
5	\$377.093	\$296.453	\$215.813
6	\$377.093	\$296.453	\$215.813
7	\$377.093	\$296.453	\$215.813
8	\$377.093	\$296.453	\$215.813
9	\$377.093	\$296.453	\$215.813
10	\$377.093	\$296.453	\$215.813

## Recuperación de inversión

Anexo 27. Análisis de Recuperación de inversión comparando 3 precios

<b>tasa</b>	0,11	0,11	0,11
<b>van</b>	\$1.811.386,58	\$1.372.803,23	\$ 934.219,89
<b>TIR</b>	153%	120%	87%
<b>Tiempo de retorno en años</b>	1,43	1,78	2,45