

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y  
AGROINDUSTRIA**

**DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE  
BROMELINA A PARTIR DE RESIDUOS DE PIÑA**

**PROYECTO PREVIO PARA LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE INGENIERO  
AGROINDUSTRIAL**

**NÉSTOR OMAR ANGUETA LÓPEZ**  
omar\_angueta\_l@hotmail.com

**DIRECTOR: ING. EDWIN VERA CALLE, Ph.D.**  
edwin.vera@epn.edu.ec

**Quito, junio 2019**

© Escuela Politécnica Nacional (2019)  
Reservados todos los derechos de reproducción

## **DECLARACIÓN**

Yo, Néstor Omar Angueta López declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Néstor Omar Angueta López

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Néstor Omar Angueta López, bajo mi supervisión.

---

Ing. Edwin Vera Calle, Ph.D.  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi gratitud a mis queridos padres Teresa y Hugo, por su apoyo durante toda mi vida que han confiado en mí y comprendido en momentos difíciles.

Al Ing. Edwin Vera PhD., por su dirección y ayuda en el desarrollo del presente trabajo.

Un agradecimiento especial a Ernesto, por su colaboración y estar pendiente en todo momento en el desarrollo de este trabajo.

A mis amigos, Rose, Manu e Iván, por su amistad y los momentos que compartimos juntos.

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo, en consecuencia, este logro lo dedico a una persona muy especial, que representa fuerza y amor en mi vida, mi madre, Teresa López. Sin su apoyo incondicional no lo habría conseguido.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>viii</b>
<b>1. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Fitoquímica de la piña	2
1.2. Importaciones de bromelina	4
1.3. Estudio del mercado	5
1.3.1. Competidores	5
1.3.2. Demanda	6
1.3.3. Proveedores	9
1.4. Capacidad de la planta	10
1.5. Localización de la planta	12
<b>2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</b>	<b>14</b>
2.1. Definición del producto	14
2.2. Materia prima	15
2.3. Esquema del proceso	16
2.3.1. Recepción y clasificación	17
2.3.2. Lavado y desinfección	17
2.3.3. Cortado	17
2.3.4. Molienda	18
2.3.5. Prensado	18
2.3.6. Microfiltración tangencial	18
2.3.7. Ultrafiltración	21
2.3.8. Microencapsulación	22
2.3.9. Secado	22
2.3.10. Mezclado	23
2.3.11. Envasado	24
2.3.12. Almacenamiento	24
<b>3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y DISEÑO</b>	<b>25</b>
3.1. Recepción y clasificación	25
3.2. Lavado y desinfección	25
3.3. Cortado	26
3.4. Molienda	26
3.5. Prensado	27
3.6. Microfiltración tangencial	29
3.7. Ultrafiltración	30
3.8. Microencapsulación	32
3.9. Secado	32
3.9.1. Cálculo del flujo de aire necesario para la evaporación en la producción de un día	34
3.10. Mezclado	39
3.11. Envasado	40

<b>4.</b>	<b>DISEÑO DE LA PLANTA</b>	<b>41</b>
4.1.	Diagrama de bloques BPD ( <i>Block Process Diagram</i> )	41
4.2.	Balance de masa	42
4.3.	Dimensionamiento y especificaciones de los equipos propuestos	43
4.3.1.	Lavado y desinfección	43
4.3.2.	Molido	44
4.3.3.	Prensado	44
4.3.4.	Microfiltración tangencial (MFT)	46
4.3.4.1.	Factor de retención volumétrica (FRV)	46
4.3.4.2.	Determinación de la presión de trabajo	46
4.3.4.3.	Número de módulos y tiempo de operación	48
4.3.5.	Módulo de ultrafiltración (UF)	48
4.3.6.	Secador por atomización	49
4.3.6.1.	Cálculo del flujo de aire necesario para la evaporación en la producción de un día	49
4.3.7.	Tanques pulmón	53
4.3.8.	Equipos seleccionados	54
4.4.	Planificación de la producción	56
4.5.	Balance de energía	58
4.6.	Diagrama de flujo (PFD)	60
4.7.	Disposición en planta y planos de elevación	64
4.8.	Diagrama de instrumentación y tuberías (P&ID)	68
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD ECONÓMICA</b>	<b>72</b>
5.1.	Inversión	72
5.2.	Ventas netas	73
5.3.	Costos y gastos	74
5.4.	Punto de equilibrio	77
5.5.	Indicadores financieros TIR y VAN	78
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>79</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>89</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
<b>Tabla 1.1.</b>	Caracterización fisicoquímica de la piña	3
<b>Tabla 1.2.</b>	Importaciones de preparaciones enzimáticas para ablandar carne	5
<b>Tabla 1.3.</b>	Empresas que ofertan ablandadores de carne en Ecuador	6
<b>Tabla 1.4.</b>	Principales compañías de productos procesados de piña en Ecuador	9
<b>Tabla 1.5.</b>	Evaluación de alternativas para localización de la planta – Método de calificación por factores.	13
<b>Tabla 2.1.</b>	Propiedades Fisicoquímicos de la bromelina seca	14
<b>Tabla 2.2.</b>	Características del ablandador de carne con base de bromelina	14
<b>Tabla 2.3.</b>	Caracterización de los residuos de piña	15
<b>Tabla 2.4.</b>	Actividad enzimática y porcentaje de proteína de las fracciones de piña	16
<b>Tabla 3.1.</b>	Comparación de resultados de métodos de ciertos lodos usando Filtro prensa	28
<b>Tabla 3.2.</b>	Correlaciones – calor específico de los alimentos como función de la temperatura	37
<b>Tabla 4.1.</b>	Resultados del balance de masa del proceso de extracción de bromelina a partir de residuos de piña	42
<b>Tabla 4.2.</b>	Ecuaciones para estimar la densidad en función de la temperatura	45
<b>Tabla 4.3.</b>	Variación del flujo de permeado a diferentes presiones	47
<b>Tabla 4.4.</b>	Dimensiones de los tanques pulmón	54
<b>Tabla 4.5.</b>	Requerimientos de equipos para la obtención de bromelina en polvo	55
<b>Tabla 4.6.</b>	Duración de las actividades en la planta de extracción de bromelina	56
<b>Tabla 4.7.</b>	Duración y horario de cada operación unitaria en el proceso productivo por día	57

<b>Tabla 4.8.</b>	Consumo de energía eléctrica por día en la planta de obtención de bromelina en polvo	59
<b>Tabla 4.9.</b>	Nomenclatura y simbología de equipos en planta	60
<b>Tabla 4.10.</b>	Especificaciones de las bombas utilizadas en el proceso	70
<b>Tabla 5.1.</b>	Inversión total propuesta para la planta de extracción de bromelina	72
<b>Tabla 5.2.</b>	Desglose de los rubros de la inversión fija	72
<b>Tabla 5.3.</b>	Costos de equipos y maquinaria	73
<b>Tabla 5.4.</b>	Desglose del capital de operaciones	73
<b>Tabla 5.5.</b>	Ventas netas anuales	74
<b>Tabla 5.6.</b>	Costos y gastos anuales	74
<b>Tabla 5.7.</b>	Costo total de la carga fabril de la planta de extracción de bromelina	75
<b>Tabla 5.8.</b>	Parámetros para calcular el punto de equilibrio	77
<b>Tabla AI.1.</b>	Encuesta realizada y resultados	90
<b>Tabla AIII.1.</b>	Necesidad de ablandador de carne por hogar por día	95
<b>Tabla AIV.1.</b>	Especificaciones técnicas de la balanza	96
<b>Tabla AIV.2.</b>	Especificaciones técnicas de la banda transportadora	97
<b>Tabla AIV.3.</b>	Especificaciones técnicas de lavadora de alimentos	98
<b>Tabla AIV.4.</b>	Especificaciones técnicas del molino de cuchillos, Cutter	99
<b>Tabla AIV.5.</b>	Especificaciones técnicas del molino coloidal	100
<b>Tabla AIV.6.</b>	Especificaciones técnicas del Filtro Prensa	101
<b>Tabla AIV.7.</b>	Especificaciones técnicas del módulo de microfiltración tangencial	102
<b>Tabla AIV.8.</b>	Especificaciones técnicas del módulo de ultrafiltración	103
<b>Tabla AIV.9.</b>	Especificaciones técnicas del Atomizador	104
<b>Tabla AVII.1.</b>	Flujo de caja del proyecto de extracción de bromelina en polvo a partir de residuos de piña	117

## ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
<b>Figura 1.1.</b>	Principales variedades de piña en Ecuador. (a) Cayetana Lisa, (b) Golden Sweet, (c) Perolera	3
<b>Figura 1.2.</b>	Mapa de Quito Urbano DM	7
<b>Figura 2.1.</b>	Residuos de piña: (a) bagazo; (b) cáscara; (c) corazón	16
<b>Figura 2.2.</b>	Funcionamiento del sistema de microfiltración tangencial	20
<b>Figura 2.3.</b>	Esquema ciclo abierto – secador	23
<b>Figura 3.1.</b>	Partes de un filtro prensa	27
<b>Figura 3.2.</b>	Esquema de la purificación de la bromelina por microfiltración y ultrafiltración	31
<b>Figura 3.3.</b>	Representación simplificada del sistema de secado por aspersión de bromelina	33
<b>Figura 4.1.</b>	Diagrama de bloques para la producción de bromelina a partir de residuos de piña	41
<b>Figura 4.2.</b>	Diagrama cuantitativo en el proceso de secado por aspersión	50
<b>Figura 4.3.</b>	Representación de las condiciones del aire en el proceso de secado en una carta psicrométrica a 2 080 msnm (elevación de Quito).	52
<b>Figura 4.4.</b>	Diagrama de Gantt para la obtención de bromelina en polvo	58
<b>Figura 4.5.</b>	Diagrama de flujo del proceso (PFD) de extracción de bromelina a partir de residuos de piña	63
<b>Figura 4.6.</b>	Layout de la planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña con cortes	65
<b>Figura 4.7.</b>	Layout de la planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña con flujos de personal, materia prima e insumos y flujo de producto	66
<b>Figura 4.8.</b>	Plano de elevación de la planta con cortes A-A' y B-B'	67
<b>Figura 4.9.</b>	Codificación para las tuberías en P&ID	68
<b>Figura 4.10.</b>	Diagrama de instrumentación y tuberías (P&ID) de bromelina a partir de residuos de piña	71
<b>Figura 5.1.</b>	Punto de equilibrio	78

<b>Figura AV.1.</b>	Proceso de Recepción y pesaje	105
<b>Figura AV.2.</b>	Proceso de clasificación	105
<b>Figura AV.3.</b>	Proceso de lavado y desinfección	106
<b>Figura AV.4.</b>	Proceso de cortado	107
<b>Figura AV.5.</b>	Proceso de molienda	107
<b>Figura AV.6.</b>	Proceso de prensado	108
<b>Figura AV.7.</b>	Proceso de microfiltración tangencial	109
<b>Figura AV.8.</b>	Proceso de ultrafiltración	109
<b>Figura AV.9.</b>	Proceso de microencapsulación	110
<b>Figura AV.10.</b>	Solución micro encapsulante	111
<b>Figura AV.11.</b>	Proceso de secado	112
<b>Figura AV.12.</b>	Proceso de mezclado	112
<b>Figura AV.13.</b>	Proceso de envasado	113

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b>	
Encuesta realizada y resultados	90
<b>ANEXO II</b>	
Cálculo del porcentaje de proteína en las corrientes de salida de MFT, UF y secado	93
<b>ANEXO III</b>	
Cantidad promedio requerida por cada hogar y frecuencia de consumo	95
<b>ANEXO IV</b>	
Especificaciones de los equipos	96
<b>ANEXO V</b>	
Detalle del balance de masa	105
<b>ANEXO VI</b>	
Ejemplo de cálculo para obtener la potencia de las bombas	114
<b>ANEXO VII</b>	
Flujo de caja	117

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es el diseño de una planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña mediante técnicas de separación por membranas con una capacidad de procesamiento de 1 000 kg de residuos de piña por día. Dado que los residuos generados en las industrias procesadoras de frutas se han convertido en un problema a causa de su gran volumen y su impacto ambiental negativo, la importancia del trabajo radica en aprovechar dichos residuos y transformarlos en productos de consumo. El producto final es un ablandador de carne con base en bromelina, y está dirigido a la población de la ciudad de Quito. La localización de planta se estableció en la provincia de Pichincha en la parroquia Puembo perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito, especialmente por cercanía de industrias procesadoras de piña y por la cercanía a la población demandante. Entre los criterios de diseño considerados están: para microfiltración tangencial el factor de retención volumétrico, flux del permeado, presión y temperatura de operación, de acuerdo con el estudio realizado por Yáñez (2006) y de manera análoga para la ultrafiltración mediante el estudio realizado por Nor, et al. (2016), además, se extraen datos indispensables para establecer las características del producto final, como son: la cantidad de proteína y actividad enzimática, porcentaje de recuperación de cantidad de proteína y porcentaje de recuperación de actividad enzimática. En el secado por atomización se consideró la mejor temperatura de operación, los agentes microencapsulantes añadidos y su composición, esto considerando el trabajo reportado por Vega (2017).

Se elaboraron los balances de masa y energía, el diagrama de bloques (BFD), el diagrama de flujo (PFD), el diagrama de Instrumentación y tuberías (P&ID). Además, se realizaron los planos de la distribución de la planta (Layout) y los cortes de elevación del área de producción.

En el proceso de secado por atomización, se determinó la cantidad de aire requerido, humedad absoluta y su temperatura de salida, los cuales convergen en

la recta de enfriamiento adiabático correspondiente en la carta psicrométrica, a una elevación de 2 850 msnm.

Sobre la base del estudio de mercado y del rendimiento de la obtención de bromelina en polvo se estableció la cantidad de residuos a procesar por día en 1 000 kg, con lo cual se obtiene 18,8 kg de bromelina seca. Por lo tanto, el rendimiento con respecto a la obtención de bromelina seca es del 2%. El rendimiento final respecto al ablandador de carne fue 7,5% y una actividad enzimática igual a 394 CDU.g<sup>-1</sup> de ablandador.

La capacidad de los equipos se estableció sobre la base de los balances de masa y necesidades de la producción diaria, y fueron: balanza, banda transportadora, máquina de lavado, molino de cuchillas, molino coloidal, filtro prensa, equipo de microfiltración tangencial y ultrafiltración, Atomizador, mezclador de sólidos y tanques.

La planta operará 360 días al año durante 9 horas en un turno de trabajo al día. Debido a los tiempos de larga duración del prensado, microfiltración, ultrafiltración y secado, se dividió el proceso en dos partes, de tal manera, se realizan paralelamente en un turno de trabajo. Así, se tiene un lote de producción por día.

Finalmente, se calculó el punto de equilibrio y es igual a 42%, considerando un precio en el límite inferior del mercado en productos similares. Se determinaron dos indicadores de factibilidad del proyecto, y son: TIR igual a 35% y el VAN a 1 005 488 dólares para un periodo de 10 años. Por lo tanto, la planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña si es factible.

**Palabras clave:** bromelina, microfiltración, ultrafiltración, ablandador de carne, balance de masa

## 1. JUSTIFICACIÓN

La piña en el Ecuador ha sido uno de los principales productos de exportación dentro de las frutas no tradicionales. Además, existe una tendencia creciente en la demanda mundial de esta fruta, reportada del 54,12% entre el año 2000 al 2012, se evidencia la importancia de incrementar las exportaciones no sólo como fruta fresca, sino como alimentos procesados, por ejemplo: concentrados, jugos, conservas, etc. (Murillo y Carrillo, 2013, p. 1).

A nivel mundial la piña es el segundo fruto tropical no tradicional de mayor importancia luego del banano, respecto a las exportaciones e importaciones. La producción de piña en el Ecuador se ubica mayoritariamente en la provincia del Guayas, seguido por Santo Domingo de los Tsáchilas, Los Ríos, Manabí y otros, con 82,284 T, 21,851 T, 10,365 T, 3,987 T y 7,966 T respectivamente en el año 2013 (Murillo y Carrillo, 2013, p. 2).

La piña a más de ser una fruta de alto valor nutricional contiene bromelina, una enzima proteolítica con gran potencial en diferentes industrias. Esta enzima se puede encontrar mayoritariamente en el tallo, pero se encuentra también en la pulpa, corazón y cáscara. Cabe señalar que en el procesamiento de esta fruta se generan residuos (cáscara, corazón y bagazo), los mismos que generalmente, en el Ecuador, son desechados. Aproximadamente, el 50% del peso de la piña son residuos (Vega, 2017, p. 5). Los residuos han llegado a volverse un problema a causa de su gran volumen y su impacto ambiental negativo, ya sea por su mal manejo, utilización de espacio, proliferación de hongos y atracción de insectos lo que ha ocasionado una baja en la rentabilidad de esta industria. Entre las principales aplicaciones de la bromelina están: obtención de hidrolizados proteicos, ablandamiento de carnes, clarificación de cerveza, en la medicina es utilizada como antiinflamatorio, ayuda en trastornos digestivos y en la lisis de células tumorales, también se encuentra en estudios relacionados con regulación biológica (Dalgo, 2012, p .67-68 ; Rajendra, Sapna, Shraddha y Ajay, 2012, p. 1).



Estados Unidos de América ocupa el primer lugar en el mercado global de enzimas proteasas en el mundo hasta el 2014. China es el país en segundo lugar a nivel mundial de consumo de enzimas proteasas. En Europa, el país predominante en el comercio de enzimas proteasas es Alemania. Por lo tanto, los mercados de Asia-Pacífico y América Latina presentan un gran potencial sin explotar en este mercado. El segmento de mercado más grande para las enzimas proteasas es la aplicación en detergentes con el 25% en ventas a nivel mundial, seguido por la industria farmacéutica y la industria alimentaria (Markets y Markets, 2004)

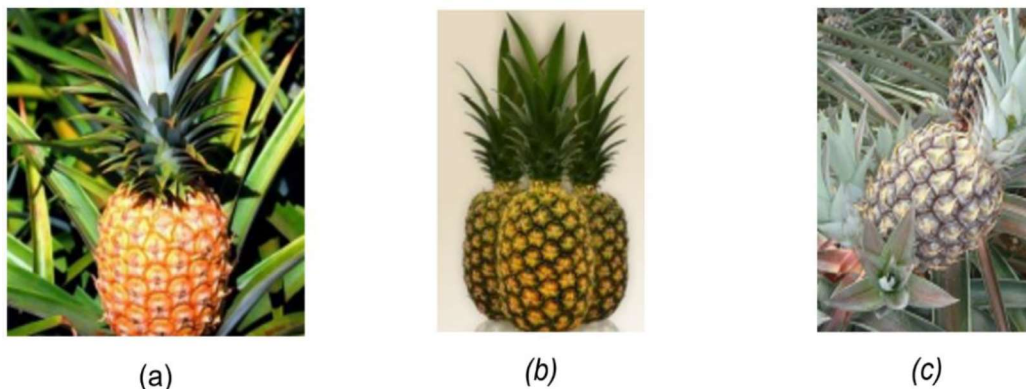
Con el desarrollo del proyecto se podrán hacer efectivas propuestas de solución a la problemática que conlleva las industrias de productos procesados con base de piña y sus residuos. En el país no se realiza la extracción de bromelina a nivel industrial por lo que el consumo de Ecuador proviene netamente de importaciones. Mediante la bromelina obtenida se elaborará un ablandador de carne, una de las aplicaciones alimenticias de consumo masivo.

Concretamente, en el desarrollo de la planta de extracción de bromelina a partir de residuos se busca que los residuos de productos procesados de piña tengan un uso de alto valor agregado, así, se podría suplir la demanda nacional de productos con base en bromelina, aumentaría la rentabilidad de la piña, también se contribuiría a reducir los impactos negativos al medioambiente que los residuos de piña generan.

## **1.1. FITOQUÍMICA DE LA PIÑA**

La piña pertenece a la familia de las Bromeliáceas, de nombre científico *Ananas comosus*. Existen tres variedades principales en el país: la Cayetana Lisa (Hawaiana) es la variedad de piña más usada en la agroindustria, la Golden Sweet (MD2) es la variedad más exportada del Ecuador y la Perolera es la de mayor consumo a nivel nacional, pero la menos apetecida en mercado

internacional por su corazón grueso y pulpa blanca. En la Figura 1.1. se observan tres variedades de piña mencionadas (Magallanes y Salcedo, 2013, p. 6).



**Figura 1.1.** Principales variedades de piña en Ecuador. (a) Cayetana Lisa, (b) Golden Sweet, (c) Perolera

En la Tabla 1.1. se detallan las características fisicoquímicas de la piña. Esta fruta contiene un alto contenido de sólidos solubles registrado entre el rango de 11 a 18 °Brix; el contenido de agua fluctúa entre el 81 y el 86 %.

**Tabla 1.1.** Caracterización fisicoquímica de la piña

Parámetro	Valor
Grados Brix	10,80 – 17,50
Acidez titulable (% ácido. cítrico)	0,60 – 1,62
% de cenizas	0,30 – 0,42
% de agua	81,20 – 86,20
% de fibra	0,30 – 0,61
% de nitrógeno	0,045 – 0,115
% de extracto etéreo	0,20
Esteres (ppm)	1,00 – 250
Pigmentos (ppm de carotenos)	0,2 – 2,50
% en peso de glucosa	1,00 – 3,20
% en peso de fructosa	0,60 – 2,30

**Tabla 1.1.** Caracterización fisicoquímica de la piña (continuación...)

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
% en peso de sacarosa	5,9 – 12,0
% de almidón	< 0,002
% de celulosa	0,43 – 0,54
% de hexosas	0,10 – 0,15
% de pentosas	0,33 – 0,43

Fuente: Hulme, 1971 citado en Magallanes y Salcedo, 2013, p. 6

Polaina y MacCabe citado en Magallanes y Salcedo (2013) enuncia que la piña posee varias enzimas como: bromelina, ananaina, fosfatasa ácida, carboxipeptidasa, peroxidasa, celulasa y fosfatasa.

## **1.2. IMPORTACIONES DE BROMELINA**

Los productos derivados de la bromelina que se utilizan en el Ecuador son 100% importados, así, la competencia llega por parte de otros países. En el país los principales productos de bromelina que se ofrecen son: suplementos alimenticios y ablandadores de carne.

Las marcas de productos ablandadores de carne elaborados con base de bromelina que se comercializan en el Ecuador son: McCormick, Badia Spices y marca Supermaxi.

La Tabla 1.2. presenta las importaciones de la subpartida “preparaciones enzimáticas para ablandar carne” registradas en el Banco Central del Ecuador. El Grupo KFC con razón social INT FOOD SERVICES CORP, empresa dedicada a la fabricación de productos cárnicos que importa el ablandador desde Colombia, con un promedio de 5 toneladas anuales desde el 2016. Corporación La Favorita

importa ablandador de los Estados Unidos de América y es comercializado con la marca Badia Spices.

**Tabla 1.2.** Importaciones de preparaciones enzimáticas para ablandar carne

Importador	País Origen	2015		2016		2017		2018 (hasta mayo)	
		TM**	CIF*	TM	CIF	TM	CIF	TM	CIF
INT FOOD SERVICES CORP	Colombia	4,7	19,3	5	22,7	5	23,1	2,3	11,1
Corporación La Favorita	Estados Unidos	1,7	8,2	-	-	0,4	2,2	0,5	2,7
	Totales:	<b>6,4</b>	<b>27,5</b>	<b>5,0</b>	<b>22,7</b>	<b>5,4</b>	<b>25,3</b>	<b>2,8</b>	<b>13,8</b>

\* en miles de dólares

\*\* peso neto en toneladas métricas

Fuente: (Banco Central del Ecuador <sup>a</sup>, 2018)

### 1.3. ESTUDIO DEL MERCADO

#### 1.3.1. COMPETIDORES

Al no existir producción nacional de bromelina, la competencia proviene de otros países. En cuanto al comercio global de la bromelina, la mayor producción y ganancias en orden descendente presentan: Estados Unidos, Canadá, Bélgica, Alemania, Francia, China, Japón, Sureste de Asia e India. Las principales fábricas de bromelina son: Enzybel International SA (Bélgica), Hong Mao Biochemicals Co., Ltd (Tailandia), Great Food Group of Companies (Tailandia) y Enzyme Technology (PTY) Ltd (Sudáfrica) (QY Research, 2018).

Por otra parte, en América Latina, el potencial de la bromelina se encuentra en sus etapas iniciales, siendo extraída y procesada a nivel industrial en cantidades considerables, en México, Argentina y Colombia.

Los competidores directos en el mercado objetivo, tomando en cuenta que este proyecto enfoca la comercialización de la bromelina como ablandador de carne,

son tres: McCormick, Badia Spices y marca Supermaxi, como se muestra en la Tabla 1.3. Estos son ofertados principalmente en supermercados “La Favorita” y algunos en Tiendas Industriales Asociadas Tía SA y Supermercados “Santa María”. La presentación de estos productos es en frasco y sobres, desde 88 g hasta 200 g.

**Tabla 1.3.** Empresas que ofertan ablandadores de carne en Ecuador

Número	Empresa	Marca	Origen
1	ALIMEC	McCormick	Ecuador
2	ALIMEC	Supermaxi	Ecuador
3	Badia	Badia Spices	Estados Unidos

Las marcas McCormick y Supermaxi son elaboradas en la planta de producción de ALIMEC ubicada en Cayambe, pero la bromelina utilizada en estas es importada desde Tailandia.

### 1.3.2. DEMANDA

Actualmente en el Ecuador la bromelina consumida es totalmente importada, por lo tanto, la población demandante podría estar conformada por las grandes industrias ecuatorianas dedicadas a la producción de cerveza, embutidos y suplementos alimenticios, también por los consumidores directos, al comercializar la bromelina como producto de consumo masivo, por ejemplo, ablandador de carne (Dalgo, 2012, p. 5 y Silva y Trigos, 2012, p. 6).

**Población de Referencia:** Para la presente planta de producción de bromelina se tomará como referencia a la población del cantón Quito, que cuenta con 2 644 145 habitantes entre hombres, mujeres y niños de acuerdo con las proyecciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2013).

**Población demandante potencial:** El consumo de este producto se recomienda para todo tipo de población entre hombres, mujeres y niños (FDA, 2018). Los condimentos alimenticios de tipo ablandador de carne son adquiridos por hogar, por ende, se afina la población demandante potencial y se trabaja con el número de hogares. El número total de hogares en Quito es de 640 753 (INEC<sup>2</sup>, 2013). No obstante, se tomará como población demandante potencial al número de hogares donde se tienen disponibles Supermercados grandes (La favorita, TÍA, Santa María, etc) en las parroquias Urbanas y se presentan en la Figura 1.2. también incluyendo a Tumbaco, Cumbayá y Calderón por las características comerciales favorables; por lo que, se tiene un total de 535 897 hogares (INEC<sup>2</sup>, 2013).



**Figura 1.2.** Mapa de Quito Urbano DM

**Población Demandante Efectiva:** En concordancia con las costumbres culinarias, el ablandador de bromelina estará destinado principalmente a los hogares del área urbana, a su vez se selecciona como mercado objetivo a los hogares pertenecientes a un estrato medio. De acuerdo con la última clasificación del INEC, el perfil del consumidor como mercado objetivo se encuentra dentro del estrato B (11,2%) y estrato C<sup>+</sup> (22,8%) (INEC, 2011). Así, la cantidad de consumidores efectivos se reduce a 182 205 hogares. No obstante, se realizó una

encuesta para sondear en los requerimientos de los consumidores, identificar variables de consumo y segmentar a la población demandante efectiva.

### **Cálculo del tamaño de muestra**

Para de realizar la encuesta se estableció el número de encuestados que representan al grupo objetivo. Por lo tanto, haciendo referencia a la población demandante efectiva, el tamaño de la muestra se calculó tomando en cuenta los siguientes parámetros: el número total de la población (N) considerada en el estudio fue de 182 205 hogares con un nivel de confianza 1,96 y un margen de error del 5%, mediante la ecuación [1.1].

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot \sigma^2}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \sigma^2} \quad [1.1]$$

Donde:

- $n$ : Tamaño de la muestra
- $N$ : Número total de la población
- $Z$ : Nivel de confianza 1,96
- $\sigma^2$ : Varianza 0,25
- $e^2$ : Error 5 %

El tamaño de la muestra resultante fue de 383. La encuesta realizada contiene 10 preguntas y se muestra en el Anexo I conjuntamente con los resultados obtenidos. Para afinar la demanda efectiva, sobre la base de los resultados de la encuesta, se filtra primero con el resultado positivo (96%) de la pregunta 2 que representa a las personas que consumen carne de res.

Mediante la pregunta 3 se determina el porcentaje del mercado objetivo que tiene la necesidad de suavizar la carne; así se les considera como posibles compradores, en cuyo caso se registra el 80% de este grupo. Además, se tomó en cuenta al 97% de los mismos porque el producto es direccionado a hogares de estrato medio alto, a través de la pregunta 1. El resultado final del número de hogares considerados como la población demandante efectiva del ablandador de carne llega a ser igual a 135 726 hogares.

### 1.3.3. PROVEEDORES

Los proveedores de materia prima son principalmente las industrias dedicadas a procesar piña, debido a que generan residuos que se usarán en la planta de producción de bromelina.

En la Tabla 1.4. se muestra las principales empresas procesadoras de productos elaborados de piña registradas en el mercado nacional, en la que indica la ubicación, la marca y sus productos principales con base de piña.

**Tabla 1.4.** Principales compañías de productos procesados de piña en Ecuador

Empresa	Marca	Ubicación	Producto
Procesadora de alimentos procesados C.A. PRONACA	Gustadina, Marca supermaxi (maquiladora)	Los Naranjos N44-15 y Av. de los Granados - Quito, Pichincha	Mermelada
Grupo FADESA (Ecuavegetal S.A.)	Facundo	km 7 vía Babahoyo - Jujan, los Ríos	Mermelada, conservas.
SIPIA S.A.	Snob	Vía interoceánica, km 21, 17050, E28C, Puenbo – Quito, Pichincha	Mermelada, conservas.
Industria conservera Guayas	Conservas Guayas	km. 5.5 vía a Daule. Guayaquil	Mermelada
Latinoamericana de jugos S.A.	Lajugosa, Supermaxi (maquiladora)	Gavilanes 77, km.5 vía Amaguaña, Rumiñahui – Pichincha	Pulpa, concentrados.
Agrocomercial morvie cía. ltda.	Frutasi	km. 6, vía Tambillo – Amaguaña, Pichincha	Pulpa, concentrados.
Envagrif C.A.	La Morena	Carchi Nro.904, vía Interoceánica, Km 14 1/2 - Tumbaco – Quito, Pichincha	Pulpa, Conservas, mermelada.
Quicornac S.A	Sunny	Ciudadela la granja, Vices, los Ríos	Jugos, néctar
Leyendas Ecuador	Disfruta	Tumbaco – Quito, Pichincha	Néctar, pulpas
Ecopacific	D´hoy	Parque Industrial El Carmen km 2 ½ vía Sangolquí – Pichincha	Jugos

Fuente: Página o dirección web de cada empresa  
Elaborado por: el autor



Yáñez (2015) identifica a las tres empresas principales en el mercado de pulpas de frutas en la ciudad de Quito: Latinoamericana de jugos S.A. con mayor posicionamiento, con el 27% para la marca Supermaxi y 17% para la marca La Jugosa, seguida por Agrocomercial Morvie CÍA. LTDA. con el 14% y con el 12% por Envagrif C.A (14). Entre las principales empresas dedicadas a la producción de jugo de piña a nivel nacional están Quicornac S.A, Ecopacific y leyendas Ecuador.

La empresa de mayor producción de mermeladas en el Ecuador es la Procesadora de alimentos procesados C.A. PRONACA con una participación del 54%, seguida por el Grupo FADESA (Ecuavegetal S.A.) con el 26%, SIPIA S.A. con el 4% y Industria conservera Guayas con el 4% (Illescas, 2016, pp. 11-12).

#### **1.4. CAPACIDAD DE LA PLANTA**

Para establecer el tamaño de la planta se realizó la segmentación del mercado mediante la población demandante efectiva previamente definida. Además, se determinó la cantidad promedio necesaria por cada hogar y la frecuencia de consumo; este análisis se encuentra detallado en el Anexo III. Se consideró la ecuación [1.2] para calcular la capacidad de la planta. La participación en el mercado se considera del 30%, sin embargo, el producto podrá ser distribuido a las principales ciudades del país.

La cantidad promedio necesaria por hogar en una semana se estableció mediante la pregunta 2 de la encuesta; esta fue semanal con 4 opciones, como se observa en la Tabla AIII.1 del Anexo III. Mediante los resultados relativos de la encuesta se obtuvo los gramos de ablandador de carne requeridos por día.

$$capacidad = \frac{cantidad\ promedio\ necesaria\ por\ hogar \cdot PDE}{frecuencia\ de\ consumo} \cdot \% Participación \quad [1.2]$$

$$capacidad = \frac{13,31 \text{ g } \frac{\text{ablandador}}{\text{Hogar}} \cdot 135\,726 \text{ hogar}}{1 \text{ semana} \cdot \frac{1 \text{ año}}{52 \text{ semanas}} \cdot 1\,000\,000 \frac{\text{g ablandador}}{1 \text{ t}}} \cdot 30\%$$

$$capacidad = 28,27 \frac{\text{t}}{\text{año}} \approx 28 \frac{\text{t ablandador}}{\text{año}}$$

Donde:

*PDE*: Población demandante efectiva

Se conoce que por cada 516 kg de residuos de piña se obtuvieron 18 kg de bromelina seca con una actividad enzimática de 805 GDU, lo que resulta en un rendimiento del 3,49% (Gil y Maupoey, 2017, p. 1230). Para la formulación del ablandador de carne se considera que, una cucharadita (4,4 g) de ablandador debe generar entre 1 000 y 3 000 MCU de actividad enzimática (McCormick, 2018; EDC, 2016).

De esta manera, para determinar la capacidad, se establece el ablandador de carne con 2 g de bromelina seca y 2,4 g de excipientes. 1 MCU = 1,5 GDU (COPRO, 2010).

$$2,0 \text{ g bromelina seca} \cdot \frac{805,0 \text{ GDU}}{\text{g bromelina seca}} \cdot \frac{1,0 \text{ MCU}}{1,5 \text{ GDU}} = 1\,073,3 \text{ MCU}$$

Entonces, los 4,4 g de la mezcla mencionada, proporciona 1 073 MCU (dentro del rango establecido) de actividad enzimática. Consecuentemente, el rendimiento global de la obtención de un ablandador de carne a partir de residuos de piña es mayor al 3,49%, ya que se debe considerar los excipientes añadidos:

$$\frac{4,4 \text{ g ablandador}}{2,0 \text{ g Bromelina seca}} \cdot \frac{3,49 \text{ g Bromelina seca}}{100 \text{ g Residuos}} = 0,07678 \frac{\text{g ablandador}}{\text{g Residuos}} \approx 7,7\%$$

Por lo tanto, el rendimiento para la obtención de ablandador de carne a partir de residuos de piña es del 7,7%. Mediante los siguientes cálculos se determina las

toneladas de residuos de piña requeridos por día para obtener 28 toneladas de ablandador por año. Se define que la planta laborará 360 días cada año:

$$X \frac{\text{toneladas residuos}}{\text{día}} = 28 \frac{\text{toneladas de ablandador}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{360 \text{ días}} \cdot \frac{100 \text{ toneladas residuos}}{7,7 \text{ toneladas}}$$

$$X = 1,01 \approx 1 \frac{\text{tonelada residuos}}{\text{día}}$$

Por lo tanto, la capacidad de producción de la planta se establece en 28 toneladas anuales, que se obtendrán a partir del procesamiento de una tonelada de residuos de piña por día.

## 1.5. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

La ubicación de las principales compañías dedicadas a elaborar productos procesados de piña es uno de los factores preponderantes en la localización de la planta industrial, debido a que estas serán las que suplan sus residuos como materia prima para la elaboración de bromelina.

A continuación, se lleva a cabo el "Método de calificación por factores" para evaluar alternativas de localización de la planta. Este método consiste en ponderar factores importantes en varios aspectos que influyen en la mejor implantación y desarrollo de la planta, al escoger una localización. La ponderación se realiza de acuerdo con cada situación e importancia en el caso, de tal manera el fin es ser más objetivo en la elección (Heizer y Render, 2009, p. 323).

Las alternativas a evaluar son: en Puenbo – Quito, ubicada en la provincia de Pichincha y Babahoyo ubicada en la provincia de Los Ríos. En la Tabla 1.5. se presenta las localizaciones mencionadas con los factores a considerar en la evaluación de estas alternativas.

**Tabla 1.5.** Evaluación de alternativas para localización de la planta – Método de calificación por factores.

N°	Factor	Peso	Calificación (100)		Calificación ponderada	
			Puembo - Quito	Babahoyo	Puembo - Quito	Babahoyo
1	Mano de obra, capacitación y disponibilidad	0,15	80	65	12	9,75
2	Cercanía de clientes potenciales	0,25	90	40	22,5	10
3	Cercanía de materia prima e insumos	0,35	90	80	31,50	28
4	Existencia de vías de comunicación y transporte	0,10	80	80	8	8
5	Servicios básicos (energía, agua, alcantarillado, teléfono)	0,15	75	70	11,25	10,50
<b>TOTALES</b>		1,00			<b>85,25</b>	<b>66,25</b>

La Tabla 1.5. muestra que la cercanía de la materia prima es un factor importante porque se trata de un producto perecedero, porque se reducen los costos de transporte y porque el volumen requerido en el procesamiento es diario. En la Tabla 1.4., se indica mayor número de industrias procesadoras de productos de piña en la ciudad de Quito o cercanas. La cercanía a los mercados o clientes potenciales es un factor que genera incrementos en los costos de transporte y distribución del producto terminado; mientras más alejada se encuentre la planta de la población demandante efectiva mayor será el incremento en los costos. Así, la mayor puntuación obtuvo la localización de la planta en Puembo – Quito con una puntuación de 85 puntos, mientras que para Babahoyo resultó igual a 66 puntos.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

### 2.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

El producto final del proceso de extracción es la bromelina en polvo, envasado en frascos de vidrio con tapa para dispensar el producto directamente y que va a hacer utilizado como ablandador de carne. El contenido de producto neto será de 55 g y 130 g, de acuerdo con las marcas de la competencia y las preferencias de los consumidores analizadas en la encuesta en las preguntas 8 y 9 del Anexo I.

La bromelina se mezclará con silicato de calcio como antiaglutinante, cloruro de sodio y azúcar como excipientes. La apariencia de la bromelina en polvo será de color marrón claro. Las propiedades fisicoquímicas de la bromelina seca y características del ablandador de carne resultante se muestran en la Tabla 2.1 y Tabla 2.2. respectivamente.

**Tabla 2.1.** Propiedades Fisicoquímicos de la bromelina seca

Propiedad	Bromelina seca
Humedad [%] <sup>a</sup>	5,2-6
Actividad enzimática [CDU.mg <sup>-1</sup> proteína] <sup>b</sup>	194
Proteína [%] <sup>c</sup>	0,96

Fuente: a) Vega, 2017, p. 61; b) Nor et al., 2016, p. 146; c) Anexo II  
CDU: Actividad de la enzima unidades de digestión de caseína

**Tabla 2.2.** Características del ablandador de carne con base de bromelina

Propiedad	Ablandador de carne
Humedad [%] <sup>a</sup>	6
Bromelina en polvo (w/w)	25%
Actividad enzimática [CDU.g <sup>-1</sup> ablandador]	394
Silicato de calcio <sup>b</sup>	2%
Sal (NaCl) (w/w)	35%
Azúcar (w/w)	38%

Fuente: a) Vega, 2017, p. 61; b) FDA, 2018.

## 2.2. MATERIA PRIMA

Los residuos de piña a utilizar para la extracción de bromelina son: la cáscara, el bagazo y el corazón. En la Tabla 2.3. se muestra la caracterización de estos residuos, la humedad, los °Brix, acidez y conductividad. El bagazo es la fracción que más se asemeja a las características de la pulpa, de acuerdo con la norma NTE INEN 1836 para la piña, que tiene de 11 a 17 °Brix y 0,9 % de acidez.

**Tabla 2.3.** Caracterización de los residuos de piña

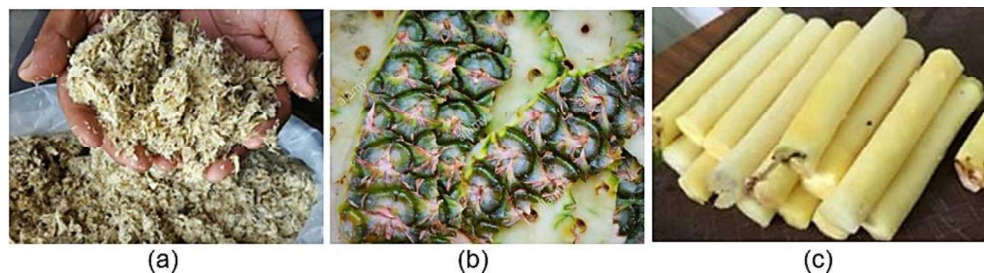
Propiedad	Corazón	Bagazo	Cáscara
°Brix	7,43±0,4	10,55±0,6	7,13±0,76
pH	4,02±0,10	4,08±0,11	3,90±0,10
Humedad (%)	88,56±1,25	87,2±0,75	85,57±1,00
Acidez (%)	0,44±0,10	0,63±0,10	0,35±0,05
Conductividad (dS/m)	2 150±0,74	2 160±0,75	2 180±0,48

$\bar{x} \pm \sigma(n = 4)$

Fuente: Vega, 2017, p. 43

La capacidad de ablandar carne por medio de la bromelina está dada en forma directa por la actividad enzimática y a su vez con la cantidad de proteína que encontramos en el producto final. En la Tabla 2.4. se comparan los valores del porcentaje de proteína y actividad enzimática del corazón, bagazo y cáscara de piña.

En las plantas procesadoras de elaborados de piña, el corazón y cáscara vienen trozos mientras el bagazo viene más triturado. Se muestran imágenes de los residuos de piña en la Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Residuos de piña: (a) bagazo; (b) cáscara; (c) corazón

**Tabla 2.4.** Actividad enzimática y porcentaje de proteína de las fracciones de piña

Residuo	Actividad enzimática [ $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{mL}^{-1}$ ]	Porcentaje de Proteína [%]
Corazón	130,65 $\pm$ 0,19	0,80 $\pm$ 0,07
Bagazo	166,67 $\pm$ 0,12	0,90 $\pm$ 0,04
Cáscara	126,41 $\pm$ 0,19	0,30 $\pm$ 0,05

$\bar{x} \pm \sigma (n = 4)$

Fuente: Vega, 2017, p. 44

El bagazo de piña reporta la mayor actividad enzimática, mientras que el corazón y la cáscara tienen valores similares. Con respecto a la cantidad de proteína, el bagazo tiene el mayor valor, no obstante, entre el bagazo y corazón, no existe diferencia significativa.

### 2.3. ESQUEMA DEL PROCESO

A partir de una tonelada diaria de residuos de piña, el proceso para obtener bromelina en polvo inicia con la recepción, clasificación y lavado, asegurando que esté libre de cuerpos o partículas extrañas que contaminen el producto. Luego se reduce el tamaño de partícula para facilitar la extracción de la bromelina a través del cortado y molienda. Seguidamente, este producto es prensado y pasa al proceso de microfiltración, para remover los residuos sólidos (fibra, etc.). Al jugo permeado se somete a una etapa de ultrafiltración con un tamaño de poro de membrana que permite la purificación de la enzima. Entonces, se trabaja con el

retenido resultante. Posteriormente, se añade una solución encapsulante de maltodextrina y goma arábica, con la finalidad de proteger la bromelina de temperaturas altas. Entonces, la mezcla anterior se seca a través de un atomizador. Finalmente, la bromelina se mezcla con silicato de calcio, cloruro de sodio y azúcar como excipientes, en proporciones que aseguren la actividad enzimática por gramo que debe otorgar este tipo de producto. El producto se envasa y es almacenada a temperatura ambiental.

### **2.3.1. RECEPCIÓN Y CLASIFICACIÓN**

Se pesa la materia prima, la cáscara, el bagazo o el corazón de piña y luego se remueve los residuos que no presenten características deseables para su procesamiento, como residuos con hongos, objetos extraños y otros contaminantes.

### **2.3.2. LAVADO Y DESINFECCIÓN**

Elimina la tierra, microorganismos e impurezas adheridas a la cáscara de piña y/o corazón de la piña. El bagazo no requiere lavado porque al estar más triturado tiende a perder los compuestos de interés de la piña con el agua de lavado.

### **2.3.3. CORTADO**

Reduce el tamaño de los residuos de piña con el propósito de incrementar el área de superficie, así se logra mayor disponibilidad de los constituyentes en estos residuos.



#### **2.3.4. MOLIENDA**

Reduce el tamaño de partícula a través de medios mecánicos, alcanzando una finura que oscila entre 40 y 100 micras, puesto que la proteína de interés es de tipo intracelular, por lo que se requiere provocar la ruptura de las paredes celulares.

#### **2.3.5. PRENSADO**

Separa la parte sólida de la parte líquida del “jugo” obtenido en la operación previa para conseguir un producto filtrado reducido a una mínima concentración de partículas sólidas de 26 micras de tamaño (diámetro) o menores.

Esta operación unitaria consiste en separar de manera mecánica la parte líquida de la sólida, a través de un medio filtrante a presión constante (Geankoplis, 1998, p. 886).

#### **2.3.6. MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL**

Separa los sólidos en suspensión aún existentes en el extracto resultante del prensado, a través de tecnología de membranas, ya sea de policarbonato u otros materiales. Las membranas tienen tamaño de poros regulares, lo cual es fiable con respecto al tamaño de partículas que filtran que son menores a 10 micrómetros. Entre las principales variables a considerar en la microfiltración se pueden mencionar: el tamaño del poro de la membrana, el material del filtro y la relación del diámetro del filtro con respecto al volumen a filtrar (ICTSL, 2009, p. 5). La corriente alimentada al sistema de microfiltración se separa en dos, la primera es el material que no pasa por la membrana semipermeable o llamado retenido, la segunda es la corriente que atraviesa la membrana y que es conocida como permeado. Existe una diferencia de presión entre las dos fases que provoca el

paso del permeado de la alimentación a través de la membrana (Vaillant, 2016, p. 15 citado en Flores, 2017, p. 13).

El factor de retención volumétrica (FRV) se define como el volumen de alimentación dividido para el volumen de retención y se muestra en la expresión [2.1] (Arias y Espinel, 2006, p. 10). El FRV es un parámetro importante que considerar al fijar las condiciones de operación del equipo de microfiltración tangencial.

$$FRV = \frac{m_A \cdot \rho_R}{m_R \cdot \rho_A} = \frac{V_A}{V_R} = \frac{V_R + V_P}{V_R} = 1 + \frac{V_P}{V_R} \quad [2.1]$$

Donde:

- $m_A$ : Masa de la alimentación (kg)
- $\rho_R$ : Densidad del retenido ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
- $m_R$ : Masa del retenido (kg)
- $\rho_A$ : Densidad de la alimentación ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
- $V_A$ : Volumen de alimentación
- $V_R$ : Volumen del retenido
- $V_P$ : Volumen de permeado

A partir de las condiciones de operación propuestas se llega a un FRV deseado que satisfagan las características organolépticas y fisicoquímicas del permeado.

De acuerdo con Yáñez (2006) el flux de permeado es un parámetro de control en procesos de tecnología de membranas, y se define como el volumen que atraviesa la membrana por unidad de superficie y tiempo (p. 22).

A mayor velocidad de alimentación, el flux de permeado aumenta. También, la presión transmembrenaria influye en el flux de permeado, pero esta depende de cada soluto. El flujo aumenta a mayor presión, no obstante, puede producirse una compactación de sólidos en la membrana y disminuir el flujo. Por otro lado, el flux de permeado se incrementa, al elevar la temperatura, debido que la viscosidad del producto disminuye y hay mayor difusión (Ortiz, Vélez y Mejía, 2008, p. 124).

El flux de permeado se define mediante las ecuaciones [2.2] y [2.3] descritas a continuación:

$$J = \frac{1}{A_m} \cdot \frac{dV}{dt} \quad [2.2]$$

$$A_m = \frac{F_p}{J} \quad [2.3]$$

Donde:

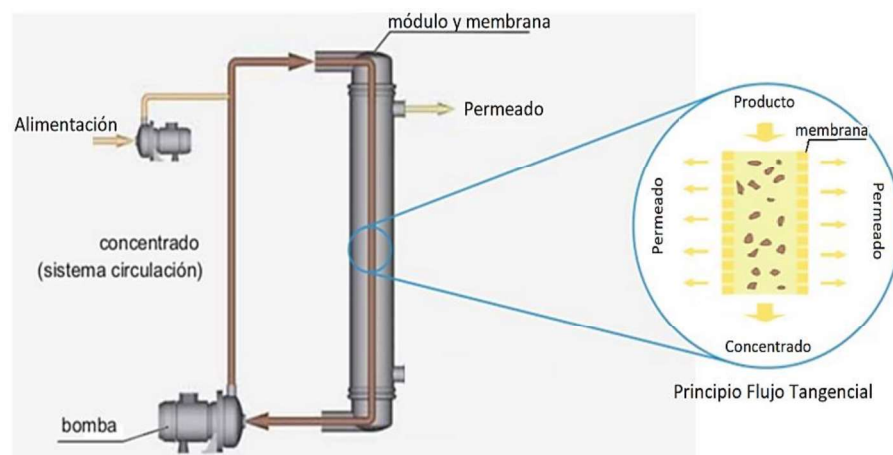
$J$ : Flux de permeado

$A_m$ : Área transversal de la membrana

$\frac{dV}{dt}$ : Diferencial de volumen del permeado respecto al tiempo

$F_p$ : Flujo de permeado

La MFT se usa ampliamente para purificar proteínas; por lo tanto, se espera obtener un producto con bromelina y sin sólidos solubles. En la Figura 2.2. se presenta el sistema de microfiltración tangencial, donde se identifica el mecanismo de funcionamiento y las corrientes principales.



**Figura 2.2.** Funcionamiento del sistema de microfiltración tangencial

### 2.3.7. ULTRAFILTRACIÓN

El proceso de microfiltración y ultrafiltración son equivalentes, dado que operan bajo el mismo principio. La fuerza impulsora de esta operación unitaria es la presión. Las partículas con mayor tamaño al poro de la membrana quedan retenidas. El tamaño de poro se expresa en función al corte molecular en Daltons, y este está comprendido entre 5 000 y 500 000 Daltons. Mientras que la presión que se maneja en este proceso está dentro de 1 a 10 bares (ECOAGUA, 2009, p. 3).

El proceso de ultrafiltración permite obtener un flujo de proteína altamente concentrado y otras macromoléculas. Gil y Maupoey (2017) señalan que mediante el proceso de ultrafiltración de jugo de residuos de piña se duplicó la concentración del contenido de proteína usando  $\frac{masa_{retenido}}{masa_{alimentación}} = 53\%$  (p. 1229).

Otros estudios señalan que la utilización de esta tecnología para la purificación de bromelina ya sea en combinación con microfiltración previa o sola arrojaron resultados satisfactorios. Por ejemplo, Lopes et al. (2009), obtiene un extracto de bromelina mediante un ciclo de microfiltración seguido de un ciclo de ultrafiltración que registran el 85% y 100% de recuperación de actividad enzimática, respectivamente.

Las membranas empleadas en microfiltración y ultrafiltración se clasifican en orgánicas e inorgánicas según su naturaleza. Las membranas orgánicas son fabricadas en materiales como fluoruro de polivilideno, polisulfona, acetato de celulosa, poliamida, y las configuraciones más utilizadas son en fibra capilar, enrollamientos en espiral y en forma de membranas planas (ECOAGUA, 2009, p. 3).

Por otro lado, las membranas inorgánicas se identifican por su gran estabilidad química, térmica y mecánica, y de estas las más destacadas son las membranas cerámicas. Las membranas cerámicas son fabricadas por mezcla de un metal con

no metal, de lo cual se forman nitruros, óxidos o carburos; la combinación más utilizada resulta en óxidos de zirconio y óxidos de aluminio (Yáñez, 2006, p. 14).

### **2.3.8. MICROENCAPSULACIÓN**

Debido a que la bromelina puede volverse inactiva de manera irreversible a altas temperaturas del secado, se emulsifica o microencapsula a través de la combinación con un agente encapsulante o protector, el cual atrapa al componente sensible en una matriz homogénea o heterogénea que lo protege. Así, la finalidad es menguar la reducción de la actividad enzimática (Vega, 2017, p. 61).

Entre los agentes encapsulantes o protectores de los compuestos de interés comúnmente utilizados en procesos de secado por aspersión están: maltodextrina, goma arábiga, goma de mezquite y caseinato de sodio. (García y López, 2012, p. 86).

### **2.3.9. SECADO**

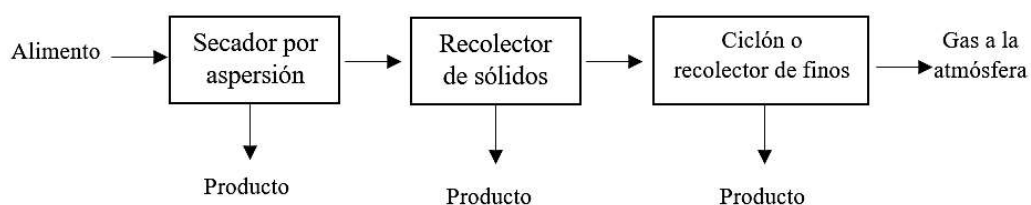
El secado consiste en remover el solvente de una alimentación fluida hasta obtener un producto generalmente de contenido menor al 10% de humedad. De esta manera, la actividad de agua se reduce, por lo tanto, también la proliferación de microorganismos, a fin de estabilizar el compuesto de interés.

Este método inicia al generar diminutas gotas pulverizadas del fluido a secar, así se incrementa mil veces el área superficial específica y se facilita la evaporación. Simultáneamente ingresa a la cámara de secado, el aire caliente, que provoca la evaporación del disolvente (Casp y Abril, 2003, p. 370).

Este método de secado puede ser controlado mediante las condiciones de entrada del producto, y las del aire (temperatura y flujo).

Existen dos esquemas principales para el secador por aspersión: el primero es de ciclo abierto que consiste en una entrada continua de aire, el cual, luego es limpiado al pasar por ciclones o agotadores y consecutivamente es liberado al ambiente. La segunda configuración del secador difiere del primero en que el aire es recirculado luego de ser limpiado. El sistema de ciclo cerrado es necesario cuando: el producto es tóxico, puede ocurrir contaminación atmosférica con partículas no permitidas, hay riesgos de explosión, es requerida la recuperación total del solvente (Yanza, 2003, p. 28).

La Figura 2.3. representa un esquema del secador por aspersión de ciclo abierto que muestra las corrientes principales.



**Figura 2.3.** Esquema ciclo abierto – secador

Los elementos principales de un secador por aspersión son: cámara de secado, calentador de aire, aspersor o atomizador (dispositivo para disminuir el tamaño de las gotas del fluido) que sirve como canal para esparcir, también conocido como boquilla, una bomba que impulsa el fluido a la cámara de secado y recolector de partículas secas en el aire (Yanza, 2003, p. 30).

### 2.3.10. MEZCLADO

Para la formulación del ablandador de carne es necesario añadir excipientes a la bromelina en polvo, como: anti aglomerantes, vehículos del principio activo y potenciador de sabor.

Esta operación tiene el fin de lograr la máxima interposición entre dos o más componentes sólidos de tal manera que cada unidad de un componente tenga la mayor proximidad con cada uno de los componentes restantes, así resulta en una distribución más homogénea de la mezcla en cuestión. (UPV, 2016, p. 2).

Existen mezcladores por lote y mezcladores continuos. Los mezcladores continuos son para grandes volúmenes de producción.

### **2.3.11. ENVASADO**

La bromelina en polvo se envasa en recipientes cilíndricos de vidrio con dispensador como embalaje primario que contienen entre 55 y 130 gramos de peso neto y éstos a su vez son colocados en cajas de cartón.

### **2.3.12. ALMACENAMIENTO**

El producto pasa a la bodega de almacenamiento a temperatura ambiente, entre 15°C y 30°C.

### **3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y DISEÑO**

#### **3.1. RECEPCIÓN Y CLASIFICACIÓN**

De acuerdo con los proveedores de los residuos de piña se clasificarán los residuos en cáscara, bagazo y corazón de piña, debido a que requieren tratamientos diferentes de lavado y cortado.

Inicialmente se evalúa la materia prima por medio de una inspección visual para reconocer su estado. Esta debe estar libre de contaminantes ajenos a los residuos como: objetos plásticos, objetos metálicos, hongos y demás.

Se realiza un muestreo de la materia prima a recibir y se lleva al laboratorio de calidad. Se establecen parámetros de calidad para aceptar los residuos de piña, como pH, humedad, °Brix y acidez, y se evalúan de acuerdo con los valores reportados en la Tabla 2.2. con el fin de identificar posibles contaminantes y/o materia prima no fresca (fermentada, descompuesta) para que no afecten la calidad del producto final. En caso de resultados desfavorables en las pruebas de laboratorio se procede a la devolución de todo el lote.

Al aceptar la materia prima, se pesa, se clasifica y se inspecciona a fin de eliminar contaminantes en cada uno de los grupos de residuos. Se estima un porcentaje máximo de materia prima rechazada del 5%. La clasificación se realiza de forma manual sobre una banda transportadora de acero inoxidable (AISI 304).

#### **3.2. LAVADO Y DESINFECCIÓN**

La cáscara de piña se lava por inmersión en una solución de agua clorada de 100 ppm de concentración; esto de acuerdo con las recomendaciones vigentes en el “Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado” de la FAO, 2003.



Además, el equipo cuenta con un generador de burbujas de aire en el agua de inmersión para provocar una limpieza más profunda, removiendo impurezas adheridas a la cáscara de piña y fibras secas de la cáscara.

El bagazo no requiere esta etapa.

### **3.3. CORTADO**

A esta etapa ingresan tanto la cáscara de piña, debido a su textura gruesa rica en fibra, como el corazón de piña por su gran tamaño, con la finalidad de facilitar la molienda.

Se emplea un molino de cuchillos, Cutter, que contiene cuchillas de corte de alta velocidad que pueden regularse. Una ventaja importante al utilizar un Cutter es que no genera un aumento significativo de temperatura durante su operación (KGWETTER, 2018, p. 9).

Vega, (2017) reporta que un tiempo de cortado de 10 minutos, 5 min a velocidad lenta (12 rpm) y 5 min a velocidad rápida (24 rpm) es apropiado para obtener una mezcla homogénea (p. 32).

### **3.4. MOLIENDA**

La selección del tipo de molino se hizo considerando que el tamaño de partícula resultante debe asegurar la ruptura de la célula, debido a que la proteína de interés es de tipo intracelular.

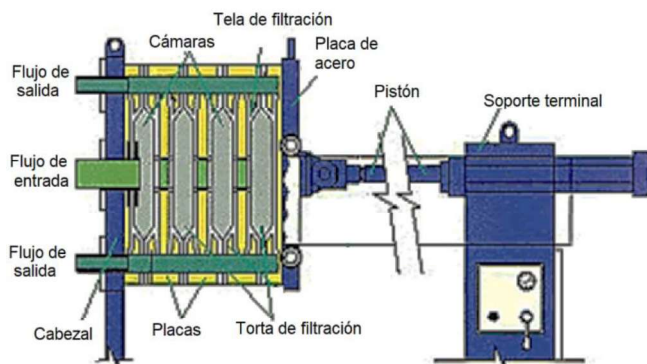
Para esta operación unitaria se selecciona un molino coloidal. Éste posee dos platos de acero inoxidable, el primero es un rotor que gira a alta velocidad y el segundo es un plato estacionario llamado estator (Pulvex, 2018). La finura del producto oscilará entre 40 y 100 micras, de acuerdo con la ranura de molienda entre los platos mencionados.

El flujo de alimentación se compone de una mezcla previa, constituida de una parte de agua y dos de residuos de piña previamente cortados (bagazo, cáscara o corazón).

### 3.5. PRENSADO

El producto obtenido en la etapa anterior se bombea a un filtro prensa de marcos y placas que se maneja por ciclos de operación. Este filtro consiste en un grupo de placas que tienen acopladas telas filtrantes. Las placas son contenidas en marcos, de tal manera que su estructura se puede separar o unirse y permanecer selladas.

Los marcos son unidos por una prensa hidráulica y permiten espacios vacíos donde posteriormente pasa la suspensión a filtrar, al mismo tiempo que va reteniendo los sólidos hasta que no se registre más filtrado por la descarga, y a su vez la presión se eleva bruscamente; esto indica que los marcos se llenaron de material sólido o denominado torta de filtración (Cadena, 2008, p. 14). La Figura 3.1. muestra un esquema del filtro prensa.



**Figura 3.1.** Partes de un filtro prensa

El medio filtrante presenta las siguientes características, de acuerdo con el fabricante:

- Material: Polipropileno

- Diámetro de poro: 50  $\mu\text{m}$
- Largo = ancho de la placa de filtración: 450 mm
- Superficie filtrante: 0,2025  $\text{m}^2$

El número de placas se establece por medio de la expresión [3.1] (Cárdenas Castillo., 2011, p. 24)

$$N_p = \frac{V_{th}}{V_p} \quad [3.1]$$

Donde:

$N_p$ : Número de placas

$V_{th}$ : Volumen total de la torta húmeda (L)

$V_p$ : Volumen de una placa (L)

Una de las ventajas principales del filtro prensa es el tiempo corto que dura un ciclo de operación, generalmente varía entre 1,5 y 2 horas, y un rango general del 20 al 40% respecto al porcentaje de sequedad de la torta (Moretón, 2008, p. 30). En la Tabla 3.1. se citan algunos resultados de procedimientos con Filtro prensa:

**Tabla 3.1.** Comparación de resultados de métodos de ciertos lodos usando Filtro prensa

Aplicación	Contenido de sólidos (%)	Tiempo de ciclo (min)	Presión (kPa)	Sólidos en la torta (%)
Cervecerías	2 - 10	90 -180	690/1 550	50
Lodo biológico industrial	2 - 6	90 -180	690/1 550	50
Lodo primario municipal	5 - 10	60 -120	690/1 550	60
Residuos grasos industriales	4 - 15	90 -150	690/1 550	70

Fuente: (UNIFIED FACILITIES CRITERIA, 2003, pp. 2-20 – 2-23).

### 3.6. MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL

En esta operación unitaria es necesario definir el número de módulos en el equipo de microfiltración tangencial que sean requeridos para abastecer la capacidad de producción de acuerdo con los balances de masa. Para esto, se estima el tiempo de residencia del producto en el equipo, considerando el número de módulos a utilizar. El procedimiento seguido se detalla a continuación:

El flujo de permeado varía de acuerdo con el contenido de los sólidos, puesto que el espesor de la capa de colmatación incrementa; y el contenido de sólidos aumenta en relación directa con el Factor de retención volumétrica.

Primero se va a fijar el FRV en base a los datos del balance de masa en la MFT reportados en el estudio realizado por Vega (2017). De este modo, se fija la presión, tomando en cuenta que la presión determina el flujo, cabe mencionar que es necesario mayor flujo para tener menor área de membrana.

Las características de la membrana son:

- Material: Cerámica
- Diámetro de poro: 0,2  $\mu\text{m}$
- Superficie efectiva filtrante: 1,4  $\text{m}^2$ ; corresponde a cada módulo (7 membranas) y es un dato proporcionado por el fabricante.

En función con el flujo de permeado deseado se fija el número de módulos filtrantes mediante la expresión [3.2]. No obstante, se tiene que considerar el tiempo que dure esta etapa; se debe ajustar a la necesidad del proyecto, menor a 24 horas.

$$\text{Flujo de permeado} = \text{Flux} \cdot n \cdot \text{Superficie efectiva filtrante} \quad [3.2]$$

Donde:

$n$ : Número de módulos

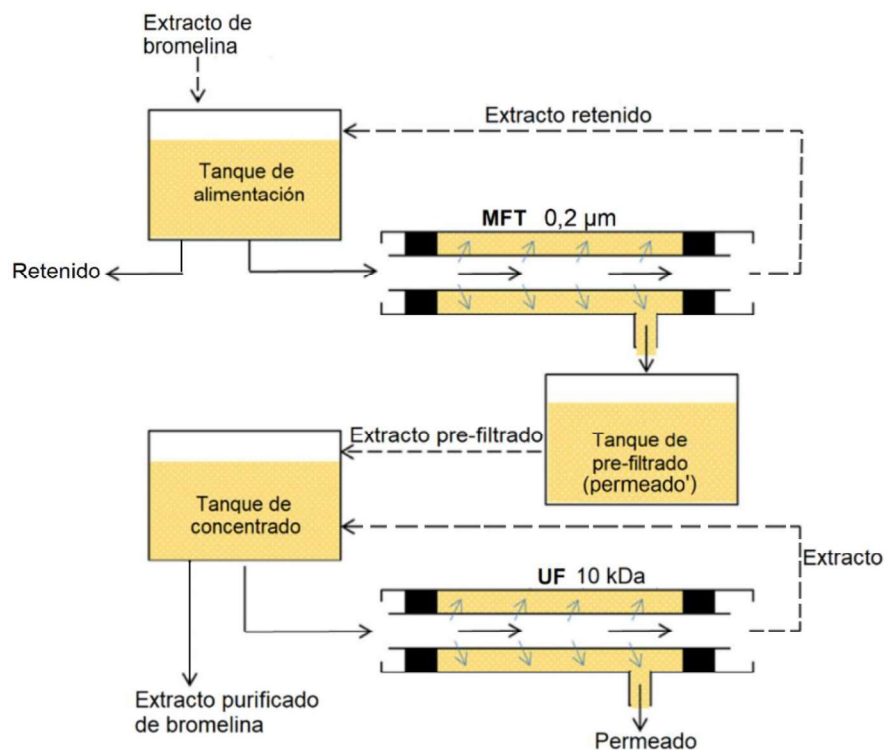
Lopes et al. (2009) reportan el 85% de recuperación de la actividad enzimática de la bromelina en un proceso de microfiltración (p. 460). Mientras que Vega (2017) registra el 51% de recuperación de actividad enzimática en el permeado, producto de la microfiltración y atribuye un 30% de pérdida de actividad enzimática al incremento de temperatura de 25°C a 55°C que sufrió el equipo en su caso. Lencastre, Carvalho, Faustino y Gava (2015) citados en Vega (2017) señalan que la actividad enzimática se reduce un 30% aproximadamente a temperaturas entre 55 y 60°C (p. 60).

El porcentaje de recuperación de la cantidad de proteína presentado por Vega (2017) es del 77,4% no obstante, en estudios afines el permeado registra hasta el 92,4% (p. 55).

### **3.7. ULTRAFILTRACIÓN**

De acuerdo con Nor et al. (2016) la bromelina presenta un tamaño aproximadamente de 30 kDa (pp. 144-145), razón por lo cual, se realiza el proceso de ultrafiltración, a través de una membrana de cerámica con un tamaño de poro de 10 kDa con un FRV=15 de tal manera que la enzima objetivo no atraviesa la membrana y queda retenida.

En la Figura 3.2. se muestra un esquema del proceso a manejar: la microfiltración seguida por ultrafiltración (UF).



**Figura 3.2.** Esquema de la purificación de la bromelina por microfiltración y ultrafiltración

En esta etapa se remueve glucósidos, sales, y otros compuestos de peso molecular inferior a 10 kDa, también parte del agua. Así, se redujo 15 veces el volumen extracto prefiltrado al finalizar la UF, y aumentó la pureza de la bromelina hasta 2,5 veces. Esto es, la actividad específica del retenido es 2,5 veces la actividad específica del extracto pre filtrado (aproximadamente 4 veces respecto a la actividad enzimática). El retenido que se obtiene resulta con 4,5 % de sólidos (w/w). En las dos etapas de ultrafiltración se trabaja a 2,0 bar y 20°C (Nor, et al., 2016, pp. 146, 149).

De acuerdo con Nor, et al. (2016), se establece el flux de permeado igual a  $6,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  para la UF. Cabe indicar que, la UF comienza con  $21,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$  (p. 146).

Las características de la membrana son:

- Material: Cerámica (Tubular de zirconia y soporte de  $\alpha$ -alumina)

- Diámetro de poro:
  - UF: 10 kDa
- Superficie efectiva filtrante:
  - UF: 0,45 m<sup>2</sup>

Los datos corresponden a cada módulo y son proporcionados por el fabricante.

Se establece el número de módulos requeridos para la producción según el balance de masa, de forma análoga a la etapa de microfiltración tangencial mediante la expresión [3.2]. Además, para fijar el número de módulos se considera la duración de esta etapa, menor a 24 horas ya que la producción de la planta es diaria.

### **3.8. MICROENCAPSULACIÓN**

Se usa maltodextrina y goma arábica en una relación en peso de 70:30 respectivamente. Para la solución encapsulante, se mezcla la maltodextrina, goma arábica con agua en una relación de 1:3 (p/p) (Vega, 2017, pp. 37, 109). Finalmente, se establece la proporción entre el concentrado de bromelina y la solución encapsulante igual a 1:1 de acuerdo con el estudio realizado por Vega (2017, p. 38).

El extracto de bromelina más la solución encapsulante se homogenizan en un molino coloidal. En este equipo, mediante la fuerza de cizalla se obtiene una emulsión uniforme y con mayor estabilidad.

### **3.9. SECADO**

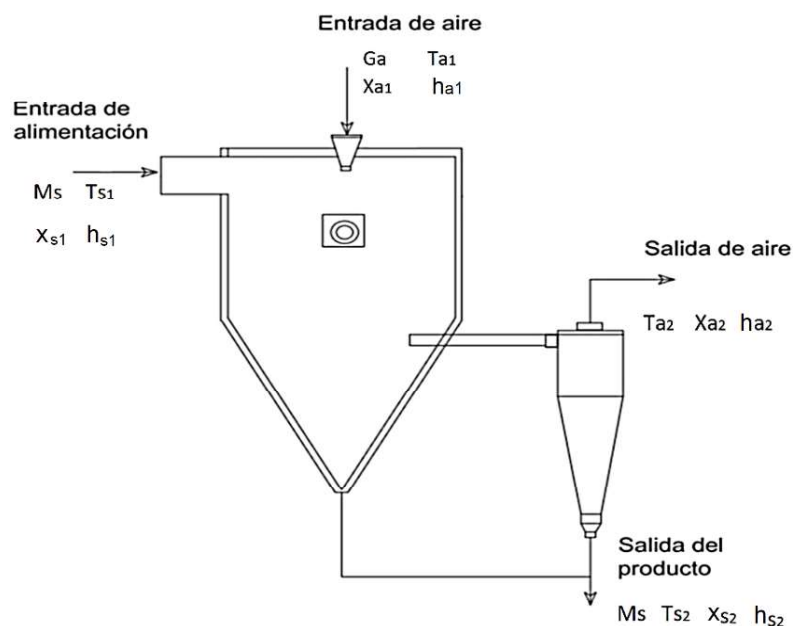
El flujo de alimentación tiene aproximadamente el 85% de humedad, mientras que al salir del proceso de secado se registra el 6% de humedad. Cabe indicar que, Devakate, Patil, Waje, y Thorat (2009) realizaron estudios sobre el secado de

bromelina mediante un atomizador y obtuvieron resultados de contenido de humedad entre 5,2 y 6% (p. 263).

De acuerdo con Vega (2017), la temperatura óptima de operación es de 130°C, puesto que, entre diferentes tratamientos realizados, este fue el que tuvo mayor recuperación de cantidad de proteína y recuperación de actividad enzimática (Vega, 2017, pp. 63 ,68).

La configuración del atomizador es de ciclo abierto, como se muestra en la Figura 3.3, puesto que tanto el producto como el medio secante no involucran agentes tóxicos o inflamables.

En la Figura 3.3. se esquematiza la unidad de secado de bromelina, en la que constan la corriente de alimentación (extracto de bromelina con el agente encapsulante), la corriente entrada de aire caliente (medio secante), la corriente de aire de salida y la corriente de salida de bromelina en polvo.



**Figura 3.3.** Representación simplificada del sistema de secado por aspersión de bromelina



Con base en la Figura 3.3. se realiza el balance de masa en el secado de la bromelina en el atomizador. La ecuación [3.3] está en función del contenido de agua de las corrientes de entrada y las corrientes de salida.

$$M_s \cdot (x_{s1} - x_{s2}) = G_a \cdot (x_{a2} - x_{a1}) \quad [3.3]$$

Donde:

$M_s$ : Masa de sólido seco (kg sólido seco)

$x_{s1}$ : Contenido de humedad del alimento (kg agua.kg<sup>-1</sup> sólido seco)

$x_{s2}$ : Contenido de humedad del producto (kg agua.kg<sup>-1</sup> sólido seco)

$G_a$ : Masa de aire seco en la cámara de secado (kg aire seco)

$x_{a1}$ : Contenido de humedad del aire a la entrada (kg agua.kg<sup>-1</sup> aire seco)

$x_{a2}$ : Contenido de humedad del aire que sale del secadero (kg agua.kg<sup>-1</sup> aire seco)

### 3.9.1. CÁLCULO DEL FLUJO DE AIRE NECESARIO PARA LA EVAPORACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE UN DÍA

A partir de la ecuación [3.4] se determina la cantidad de aire requerido por el atomizador para la etapa de secado de la producción de un día.

Cálculo de la humedad del aire de entrada (Orna, 2012, p. 49).

$$x_{a1} = \frac{PM_{H_2O}}{PM_{Aire}} \cdot \frac{p_v}{p - p_v} \quad [3.4]$$

Donde:

$PM_{H_2O}$ : Peso molecular agua igual 18,01 g/mol

$PM_{Aire}$ : Peso molecular del aire 28,97 g/ mol

$p_v$ : Presión parcial de vapor (Pa)

$p$ : Presión atmosférica de Quito (Pa)

La presión parcial de vapor se calcula con la relación [3.5]:

$$p_v = \varphi \cdot p_{vs} \quad [3.5]$$

Donde:

$\varphi$ : Humedad relativa del aire (Quito) igual a 49,36%

$p_{vs}$ : Presión de saturación de vapor (Pa)

Orna (2012) cita a Wexler, al presentar la fórmula [3.6] para calcular la presión de vapor saturado (p. 50):

$$\ln p_{vs} = 19,016 - \frac{4\,064,95}{T_{ae} + 236,25} \quad [3.6]$$

Donde:

$p_{vs}$ : Presión de saturación de vapor (mbar)

$T_{ae}$ : Temperatura del aire en el ambiente (°C)

La presión atmosférica se calcula a partir de la relación [3.7]:

$$p = p_o \cdot e^{-\frac{H}{8\,600}} \quad [3.7]$$

Donde:

$p$ : Presión atmosférica de un lugar (Pa)

$p_o$ : Presión a nivel del mar (101 325 Pa)

$H$ : Altura sobre el nivel del mar (m)

El balance de energía en el secado se realiza sobre la base de la expresión [3.8]. La expresión [3.8] surge al considerar que la energía que entra es igual a la energía que sale, más el calor perdido. Se considera un proceso adiabático, por lo tanto, el calor perdido es igual a cero.

$$M_s \cdot h_{s1} + G_a \cdot h_{a1} = M_s \cdot h_{s2} + G_a \cdot h_{a2} + Q_L$$

$$M_s \cdot h_{s1} + G_a \cdot h_{a1} = M_s \cdot h_{s2} + G_a \cdot h_{a2} \quad [3.8]$$

Donde:

$h_{a1}$ : Entalpía específica del aire a la entrada ( $\text{kJ.kg}^{-1}$  aire seco)

$h_{a2}$ : Entalpía específica del aire a la salida ( $\text{kJ.kg}^{-1}$  aire seco)

$h_{s1}$ : Entalpía específica del alimento a la entrada del secador ( $\text{kJ.kg}^{-1}$  sólido seco)

$h_{s2}$ : Entalpía específica del producto seco ( $\text{kJ.kg}^{-1}$  sólido seco)

$q_L$ : Pérdidas de energía del secadero ( $\text{kJ.h}^{-1}$ )

La entalpía de la cantidad de alimentación por día es igual a la entalpía de la alimentación seca, más la entalpía del agua que contiene y se presenta a través de la expresión [3.9].

$$h_{s1} = h_{s1\text{ sól}} + h_{s1\text{ agua}} \quad [3.9]$$

Donde:

$h_{s1}$ : Entalpía de la masa de alimentación ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ )

$h_{s1\text{ sól}}$ : Entalpía de la alimentación seca ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ )

$h_{s1\text{ agua}}$ : Entalpía del agua de la alimentación ( $\text{kJ.kg}^{-1}$ )

Entonces,

$$h_{s1} = C_{ps} \cdot (T_{s1} - T_0) + x_{s1} \cdot C_{pw} \cdot (T_{s1} - T_0) \quad [3.10]$$

Donde:

$C_{ps}$ : Calor específico del sólido seco ( $\text{kJ.kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$ )

$T_{s1}$ : Temperatura del flujo de alimentación ( $\text{°C}$ )

$T_0$ : Temperatura de referencia ( $0\text{°C}$ )

$C_{pw}$ : Calor específico del agua ( $\text{kJ.kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$ )

El  $C_{ps}$  en  $\text{kJ.kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$ , se calcula considerando la composición de acuerdo con las correlaciones presentadas en la Tabla 3.2 y la expresión [3.11]. Para el cálculo se

considera al contenido de carbohidratos, proteína. Acorde a las condiciones de operación, Nor, et al., 2016, el retenido producto de la ultrafiltración, el porcentaje en peso de carbohidratos es de 4,5% (p. 146). El porcentaje de proteína es de 0,35% y detalle del cálculo se registra en el Anexo II.

$$Cp_s = \sum x_i \cdot C_{pi} \quad [3.11]$$

Donde:

$x_i$ : Porcentaje en peso de los componentes de la mezcla seca (%)

$C_{pi}$ : Calor específico de cada componente de la mezcla seca (%)

**Tabla 3.2.** Correlaciones – calor específico de los alimentos como función de la temperatura

Componente	Ecuación
Proteína	$C_p = 2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3} \cdot T - 1,3129 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$
Grasa	$C_p = 1,9842 + 1,4733 \cdot 10^{-3} \cdot T - 4,8008 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$
Carbohidratos	$C_p = 1,5488 + 1,9625 \cdot 10^{-3} \cdot T - 5,9399 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$
Fibra	$C_p = 1,8459 + 1,8306 \cdot 10^{-3} \cdot T - 4,6508 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$
Ceniza	$C_p = 1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3} \cdot T - 3,6817 \cdot 10^{-6} \cdot T^2$

Fuente: Yanza, 2003, p. 96

El  $C_{pw}$  en  $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ , se calcula en función de la temperatura en un rango de 0 a  $150^\circ C$ , a través de la expresión [3.12]. La temperatura de entrada es de  $20^\circ C$ .

$$C_{pw} = 4\,176,2 - 0,0909 \cdot T + 5,4731 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot 10^2 \quad [3.12]$$

La entalpía del aire es igual a la entalpía requerida para elevar la temperatura del aire seco, vapor de agua y producir el cambio de estado; esto se indica en la ecuación [3.13]. (Hidalgo, 2015, p. 14)

$$h_{a1} = Cp_a \cdot (T_{a1} - T_0) + x_{a1} \cdot Cv \cdot (T_{a1} - T_0) + x_{a1} \cdot \lambda \quad [3.13]$$

Donde:

$Cp_a$ : Calor específico del aire a la entrada ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ )

$Cv$ : Calor específico del vapor de agua a temperatura del aire de entrada ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ )

$\lambda$ : Calor latente de vaporización a  $T_{a1}$  ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

El calor latente de vaporización se calcula en función de la temperatura, mediante la ecuación [3.14] válida para un rango de 0 a 300°C.

$$\lambda = 2\,502,535 - 2,385 \cdot Ta + 1,8339 \cdot 10^{-3} \cdot Ta^2 - 1,8616 \cdot 10^{-5} \cdot Ta^3 \quad (\text{kJ/kg}) \quad [3.14]$$

La entalpía del flujo de producto es igual a la entalpía del producto seco, más la entalpía del agua que contiene, y se presenta a través de la expresión [3.15].

$$h_{s2} = Cp_s(T_{s2} - T_0) + x_{s2}Cp_w(T_{s2} - T_0) \quad [3.15]$$

Donde:

$h_{s2}$ : Entalpía del producto de salida ( $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

$T_{s2}$ : Temperatura de salida del producto ( $\text{°C}$ )

Completando, se resuelven simultáneamente las ecuaciones de balance de materia [3.3] y balance de energía [3.8]. Para esto, se van dando valores a la temperatura del aire de salida, de tal manera que en la carta psicrométrica la humedad absoluta del aire de salida con la temperatura de bulbo seco debe converger en un punto de la recta de enfriamiento adiabático que corresponde a las condiciones del aire a la entrada (49,36% HR y 130°C).

Al respecto: Coronel (2015) reporta una temperatura de salida del aire igual a 95°C en un proceso de secado por atomización, el mismo que utiliza aire de entrada a 140°C (p. 39); también, Yanza (2003) en un estudio de secado por atomización utiliza aire de entrada a 130°C, y este registra una temperatura de salida de 80°C (p. 84).

Finalmente, se calcula la cantidad de aire seco por día de trabajo en la cámara de secado a través del balance de masa realizado que se representa por la ecuación [3.3].

### **3.10. MEZCLADO**

En esta etapa se realiza el mezclado de la bromelina en polvo con sus excipientes para obtener el ablandador de carne, siendo importante que el producto final suministre de una actividad enzimática de 1 400 MCU por cada libra de carne. (Calkins, Sullivan, 2007, p. 4). Cabe señalar que McCormick recomienda el uso de 4,4 gramos de ablandador por cada libra de carne (McCormick, 2018).

Entre los aditivos alimentarios más utilizados como anti aglomerante (E-552), se encuentra el silicato de calcio. Este ayuda a mantener sueltas las partículas de material en polvo, puesto que las rodea y facilita su deslizamiento (Schmidt, 1990, p. 28).

También, se añade sal (cloruro de sodio), en este caso es utilizada como vehículo de la bromelina y potenciador de sabor, además, se añade azúcar de mesa con fines similares.

Los mezcladores por lote más utilizados son del tipo mecánico cuyo principio de mezclado es de rotación o volteo y entre estos se encuentra a los mezcladores de doble cono inclinado o con doble hélice; estos aseguran el mezclado homogéneo puesto que gracias a su configuración no permiten que se produzcan puntos muertos dentro del sistema (Baizán, 2015, p. 6).

Por ejemplo, Castillo (2011), reporta un tiempo óptimo de mezclado en polvos veterinarios de 20 minutos (p. 50). A mayor velocidad de rotación, el tiempo de mezclado disminuye, también el grado de homogeneidad se incrementa. Por otro lado, es recomendable, comenzar con la mezcla del componente del principio activo e ir añadiendo paulatinamente los demás insumos (Wong, 2016, p. 95).

Se establece un tiempo de mezclado de 45 minutos; los primeros 10 minutos se mezclarán la bromelina con el silicato de calcio, a los 20 minutos se añade la sal y a los 30 minutos se añade el azúcar.

### **3.11. ENVASADO**

La mezcla resultante de la etapa anterior se envasa en frascos de vidrio con dispensador de contenido neto entre 55 y 130 gramos y cajas de cartón corrugado como embalaje secundario. Se elige el vidrio puesto que se considera que este material es inerte, no interactúa con el alimento y a su vez garantiza la conservación de este. Además, mediante la encuesta realizada y presentada en el Anexo I, se identifica la preferencia del consumidor por un estilo de vida sostenible y saludable.

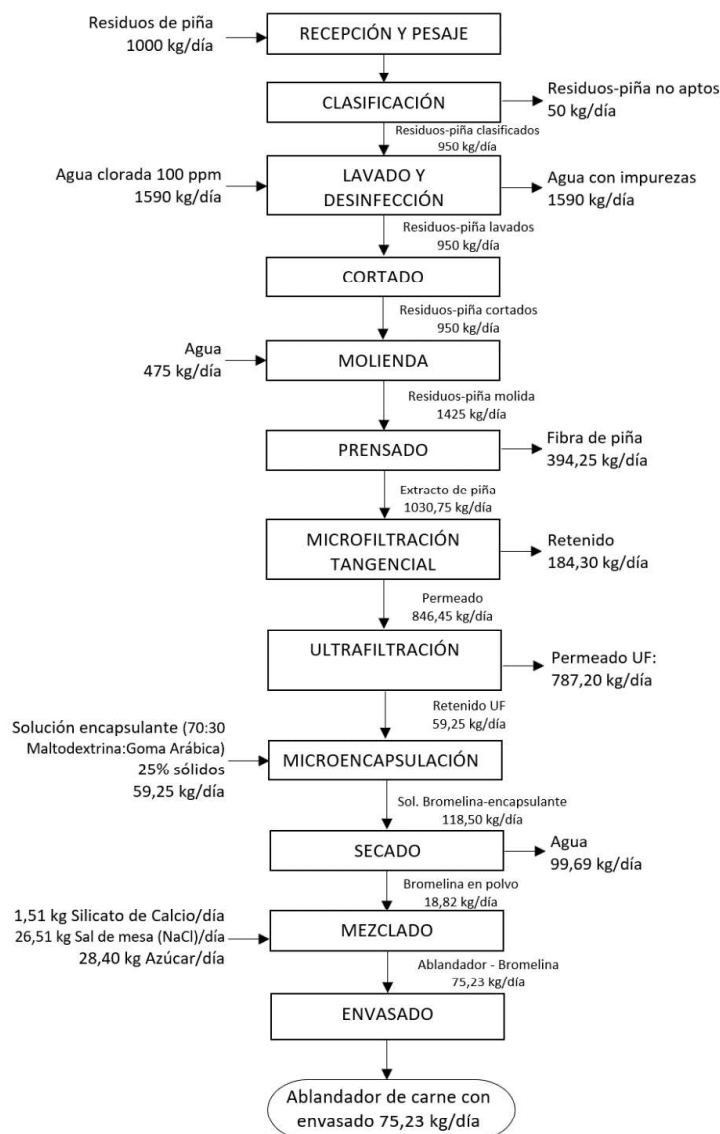
El proceso de envasado está compuesto por el llenado, sellado y etiquetado; éste puede ser automatizado o realizado de forma manual y va a depender del tamaño de planta y la rentabilidad del producto. Inicialmente se realiza el envasado a mano, no obstante, conforme se posicione el producto en el mercado se podrá invertir y automatizar este proceso.

Seguidamente, se almacena el producto en la bodega correspondiente a temperatura ambiental.

## 4. DISEÑO DE LA PLANTA

### 4.1. DIAGRAMA DE BLOQUES BPD (*BLOCK PROCESS DIAGRAM*)

A continuación, se presenta el diagrama de bloques (BPD) en la Figura 4.1. donde se muestran las operaciones unitarias del proceso productivo, cada una con los flujos másicos que abarcan. El rendimiento global del proceso total es del 7,5%.



**Figura 4.1.** Diagrama de bloques para la producción de bromelina a partir de residuos de piña



## 4.2. BALANCE DE MASA

En el Anexo V se detalla el balance de masa y sus respectivos cálculos para el proceso de extracción de bromelina; el resumen de éste se presenta en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Resultados del balance de masa del proceso de extracción de bromelina a partir de residuos de piña

No.	Descripción	Flujo másico (kg/día)
1	Residuos de piña frescos	1 000,00
2	Residuos de piña pesados	1 000,00
3	Residuos-piña no aptos	50,00
4	Residuos de piña clasificados	950,00
5	Agua clorada	1 590,00
6	Agua con impurezas	1 590,00
7	Residuos piña lavados (cáscara)	950,00
8	Residuos piña triturados	950,00
9	Agua	475,00
10	Mezcla-agua y piña triturada	1 425,00
11	Mezcla de piña molida	1 425,00
12	Fibra de piña	394,25
13	Extracto de jugo de piña	1 030,75
14	Retenido MFT	184,30
15	Permeado MFT	846,45
16	Ultrafiltración: Permeado	787,20
17	Ultrafiltración: Retenido	59,25
18	Solución encapsulante	59,25
19	Mezcla emulsión de bromelina	118,50

\* 839 unidades: 420 u de 55 g y 419 u de 130 g

**Tabla 4.1.** Resultados del balance de masa del proceso de extracción de bromelina a partir de residuos de piña (continuación...)

No.	Descripción	Flujo másico (kg/día)
20	Aire de entrada	7 914,56
21	Aire húmedo de salida	8 014,04
22	Bromelina en polvo	18,82
23	Silicato de Calcio	1,51
	Sal (NaCl)	26,51
	Azúcar	28,40
24	Ablandador de carne de bromelina	75,23

\* 839 unidades: 420 u de 55 g y 419 u de 130 g

### 4.3. DIMENSIONAMIENTO Y ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS PROPUESTOS

#### 4.3.1. LAVADO Y DESINFECCIÓN

El equipo consiste en un tanque donde se sumergen los residuos en agua clorada y un elevador para la salida de los residuos lavados. Este tiene una capacidad de 600 a 800 kg.h<sup>-1</sup> y funciona de forma continua. El equipo consta de mandos para regular la velocidad de la banda, activar el generador de aire y activar el arranque de la bomba de agua. El consumo de agua de este equipo es de 530 L por tanque, al que se cambia cada 30 minutos, esto depende del grado de suciedad. En este punto se estima un grado bajo-medio de suciedad en las cáscaras.

El tiempo que requiere esta etapa para procesar una tonelada de cáscara de piña, al utilizar un 80% de la capacidad del equipo, se obtuvo de las siguientes relaciones:

$$\frac{0,950 \text{ t cáscaras}}{\text{día}} \cdot \frac{1\,000 \text{ kg}}{1 \text{ t}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{640 \text{ kg}} = 1,48 \frac{\text{horas en lavado}}{\text{día}} = 89 \text{ minutos}$$

Entonces, se requieren de 1 590 L de agua clorada (100 ppm) para la producción diaria. La cantidad de hipoclorito de calcio es 0,1589 kg.día<sup>-1</sup>. Los cálculos se presentan en el Anexo V, apartado AV.3.

#### 4.3.2. MOLIDO

##### *Molino de cuchillos, Cutter*

Siendo 160 kg·lote<sup>-1</sup> la capacidad del equipo seleccionado se estima un tiempo de 3 horas para esta etapa. Cada lote tiene una duración de 30 minutos, 10 minutos de trabajo (5 min a 12 rpm y 5 min a 24 rpm), 10 minutos para la carga y 10 minutos para la descarga.

#### 4.3.3. PRENSADO

##### *Filtro prensa*

Cada placa tiene un espesor de 50 mm, y ofrece una capacidad de volumen de torta por marco de 6,27 L.

##### *Cálculo del número de placas*

Se determina la densidad de la torta de filtración mediante las ecuaciones de la Tabla 4.2. considerando que la torta de filtración está compuesta por fibra y agua principalmente, se estiman los porcentajes igual al 70 y 30 % respectivamente:

**Tabla 4.2.** Ecuaciones para estimar la densidad en función de la temperatura

Componente	Función de la temperatura (kg.m <sup>-3</sup> )
Fibra	$\rho = 1\,311,5 - 0,3659 \cdot T$
Agua líquida	$\rho = 997,2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} \cdot T - 3,7574 \cdot 10^{-3} \cdot T^2$
Proteína	$\rho = 1\,330,0 - 0,518 \cdot T$

(Orrego, 2003)  
De -40 a 150 °C

$$\rho_{torta} = 1\,211,655 \frac{kg}{m^3} \quad a \, 20^\circ C$$

Entonces, el volumen de la torta es:

$$394,25 \, kg \div \left( 1\,211,655 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1 \, m^3}{1\,000 \, L} \right) = 325,38 \, L$$

Por medio de la expresión [3.1] y acorde al balance de masa en la Tabla 4.1. se calculan el número de placas en el filtro prensa que se requieren para procesar 1 425 kg de la corriente 11 (extracto de piña molida):

$$N_p = \frac{V_{th}}{V_p}$$

$$N_p = \frac{325,38 \, L}{6,27 \, L} = 51,9 \approx 52$$

Las placas para procesar la suspensión de entrada de un día en un ciclo son 52; sin embargo, se consideran 2 ciclos de 2 horas de duración cada uno, por lo tanto, el filtro prensa requiere de 26 placas.

#### 4.3.4. MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL (MFT)

##### 4.3.4.1. FACTOR DE RETENCIÓN VOLUMÉTRICA (FRV)

Mediante los balances de masa y los criterios de diseño se calcula el FRV a través de la expresión [2.1].

La densidad del retenido se calculó en función a la caracterización del retenido reportado por Yáñez (2006, p. 53). La densidad de la alimentación se obtuvo en base a los °Brix mostrados en Yáñez (2006) y el estudio acerca de la densidad del jugo de piña realizado por Garza e Ibarz (2010). Los valores obtenidos fueron:

$$\rho_R = 1\,070,4 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_A = 1\,035,0 \frac{kg}{m^3}$$

A partir de estos datos y de las masas ( $m_A$ ,  $m_B$ ) de MFT reportadas en el estudio realizado por Vega, (2017, p. 112), utilizando la expresión [2.1] se tiene:

$$FRV = \frac{m_A \cdot \rho_R}{m_R \cdot \rho_A}$$

$$FRV = \frac{108,5 \, kg \cdot \frac{1\,070,44 \, kg}{1 \, m^3}}{19,4 \, kg \cdot \frac{1\,035 \, kg}{1 \, m^3}} = 5,78 \approx 6$$

##### 4.3.4.2. Determinación de la presión de trabajo

La presión de operación influye en el flujo de permeado, a mayor presión mayor flujo. No obstante, esto puede variar debido a que dependiendo de la presión y la cantidad de sólidos en la superficie de la membrana puede provocar compactación de sólidos y generar efectos contrarios y disminuir el flujo.

En el estudio “Desarrollo de una bebida gaseosa utilizando jugo clarificado de piña (variedad cayena champaca) por microfiltración tangencial” realizado por Yáñez (2006), reporta la influencia del FRV y la presión de operación con el flux de permeado. Este estudio parte de un jugo de piña con 12 g/100 g de sólidos solubles, 0,51 de acidez y 3,45 de pH. Se considera el proceso de dicho estudio, análogo a la etapa de microfiltración tangencial del proyecto.

Por lo tanto, el flux de permeado se estable mediante los datos reportados por Yáñez (2006) que se aprecian en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3.** Variación del flujo de permeado a diferentes presiones

Presión (bar)	Factor de retención volumétrico (FRV)				
	3	4	5	6	7
	FLUJO L.h <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup>				
1,5	42,0	42,7	39,3	41,6	35,0
2,0	67,9	71,4	72,1	63,4	55,3
2,5	78,1	74,6	75,2	67,5	68,8
3,0	87,2	75,2	76,2	66,9	73,1
3,5	87,3	76,3	75,8	83,3	69,8

Fuente: Yáñez, 2006, p. 45

Considerando el FRV igual a 6 (ya fijado anteriormente) se establece que la presión de trabajo debería ser de 3,5 bar, ya que el flux de permeado igual a 83,3 L.h<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup> según la Tabla 4.3., y corresponde al mayor flujo de permeado.

Por lo tanto, las condiciones de operación establecidas son: 3,5 bar de presión y una temperatura igual a 30°C.

#### 4.3.4.3. Número de módulos y tiempo de operación

De acuerdo con los requerimientos de capacidad de la planta, los balances de masa y criterios de diseño se determinó trabajar con 3 módulos para la microfiltración. Para la producción diaria de 846 kg de permeado y considerando un flujo de alimentación igual a 1 030 kg, se planifica realizar la MFT en dos lotes. Los módulos tienen 1,4 m<sup>2</sup> de superficie efectiva filtrante (dato del fabricante).

Para obtener el flujo de permeado sobre la base de las características de la membrana y el fluido a filtrar se reemplazan los datos en la ecuación [3.2], y se multiplica por la densidad del fluido.

Densidad del fluido: 1,0154 kg·L<sup>-1</sup> (Días, 2014, p. 53).

$$\text{Flujo de permeado} = \frac{83,3 \text{ L}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \cdot 3 \cdot 1,4 \text{ m}^2 = 349,86 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot 1,0154 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 355,25 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Se realiza dos lotes de la producción total diaria:

$$846,45 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \div 2 = 423,23 \frac{\text{kg}}{\text{día} \cdot \text{lote}}$$

$$\therefore 423,23 \frac{\text{kg}}{\text{día} \cdot \text{lote}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{355,55 \text{ kg de permeado}} = 1,19 \frac{\text{horas}}{\text{día} \cdot \text{lote}}$$

El tiempo total requerido para esta etapa que se compone de dos lotes, con tres módulos en el microfiltrador, es de 2 horas con 23 minutos aproximadamente. Se estima una hora y media más para la tarea de limpieza del equipo.

#### 4.3.5. MÓDULO DE ULTRAFILTRACIÓN (UF)

Esta operación unitaria se realiza la ultrafiltración con una membrana con tamaño de poro de 10 kDa.

Se reemplazan los datos expuestos en el apartado 3.6 en la ecuación [3.2]:

*Cálculo para un UF de número de módulos y tiempo de residencia*

Se consideran 3 módulos en la UF para abarcar la producción diaria:

$$\text{Flujo de permeado} = \frac{6,2 \text{ kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2} \cdot 3 \cdot 16,65 \text{ m}^2 = 309,69 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Permeado en UF: 787,20 kg·día<sup>-1</sup>

Se realiza en 2 lotes de la producción total diaria:

$$787,20 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \div 2 = 393,60 \frac{\text{kg}}{\text{día} \cdot \text{lote}}$$

$$\therefore 393,60 \frac{\text{kg}}{\text{día} \cdot \text{lote}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{309,69 \text{ kg de permeado}} = 1,27 \frac{\text{horas}}{\text{día} \cdot \text{lote}}$$

A partir de 846,45 kg de alimentación a esta operación unitaria, se obtiene al final de esta, 59,25 kg de retenido, producto que ha incrementado hasta 2,5 veces la purificación de la enzima. Por lo tanto, la ultrafiltración se completa en 2 horas y 33 minutos, a esto se debe incluir el tiempo de lavado y limpieza del equipo.

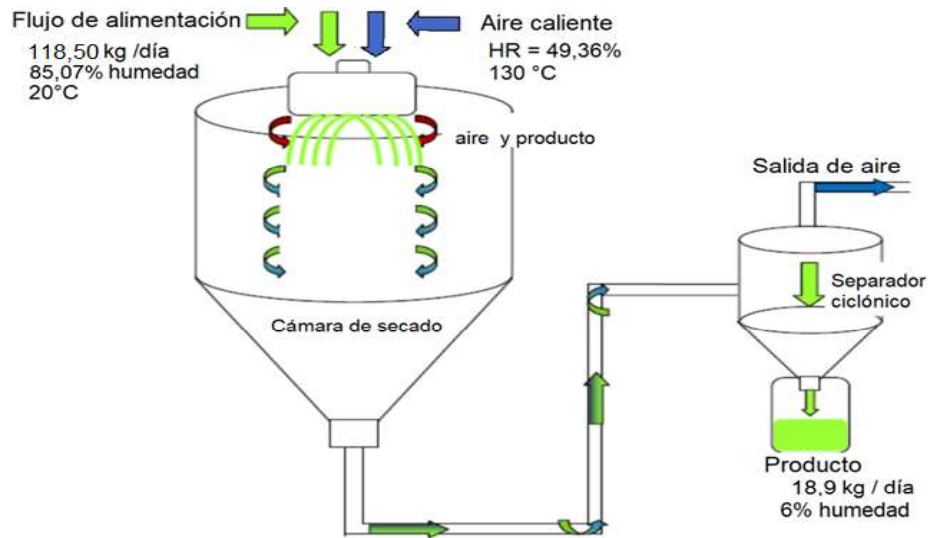
#### **4.3.6. SECADOR POR ATOMIZACIÓN**

##### **4.3.6.1. Cálculo del flujo de aire necesario para la evaporación en la producción de un día**

*Cálculo de la humedad del aire a la entrada en base seca*

En la Figura 4.2. se esquematiza un diagrama cuantitativo del proceso de secado, con las corrientes, parámetros y condiciones de operación principales correspondientes.





**Figura 4.2.** Diagrama cuantitativo en el proceso de secado por aspersión

Cálculo de la presión atmosférica en Quito (ecuación [3.7]), se considera una altitud promedio de la ciudad igual a 2 850 msnm.

$$p = 101\,325 \text{ Pa} \cdot e^{-\frac{2\,850}{8\,600}} = 72\,743,39 \text{ Pa}$$

Cálculo de la presión de saturación de vapor (ecuación [3.6]), se considera 20°C como la temperatura ambiente.

$$\ln p_{vs} = 9,016 - \frac{4\,064,95}{T_{ae} + 236,25} = 19,016 - \frac{4\,064,95}{20^\circ\text{C} + 236,25} = 23,40104 \text{ mbar}$$

$$= 2340,1040 \text{ Pa}$$

Cálculo de la presión parcial de vapor (ecuación [3.5]), se considera la humedad relativa de Quito igual a 49,36%.

$$p_v = \varphi \cdot p_{vs} = 0,4936 \cdot 2\,340,1040 = 1\,155,075 \text{ Pa}$$

Cálculo de la humedad del aire a la entrada en base seca al reemplazar los datos obtenidos en la ecuación [3.4].

$$x_{a1} = \frac{18,01}{28,96} \cdot \frac{p_v}{p - p_v} = 0,62 \cdot \frac{1\,155,075}{7\,2743,39 - 1\,155,075} = 0,0100037 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}$$

### Balace de energía en el Atomizador

Cálculo de la Entalpía específica del alimento a la entrada del secador mediante la relación [3.10].

$$h_{s1} = Cp_s \cdot (T_{s1} - T_0) + x_{s1} \cdot Cp_w \cdot (T_{s1} - T_0) \quad [3.10]$$

La capacidad calorífica se calcula en función de la Tabla 3.2. y ecuación [3.11], considerando la composición del flujo de alimentación, en el Anexo V, al igual que la composición de humedad del alimento,  $x_{s1}$ .

$$Cp_s = 1,591 \frac{kJ}{kg \text{ sólido seco } ^\circ C} \text{ a } 20^\circ C$$

$$Cp_w = 4,177 \frac{kJ}{kg \text{ agua } ^\circ C} \text{ a } 20^\circ C$$

$$T_{s1} = 20^\circ C \quad \text{temperatura ambiental}$$

$$x_{s1} = 5,699$$

Entonces,

$$h_{s1} = 507,87 \frac{kJ}{kg \text{ sólido seco}}$$

Considerando la ecuación [3.12], [3.13] y [3.14], se calcula la entalpía del aire a la entrada:

$$h_{a1} = Cp_a \cdot (T_{a1} - T_0) + x_{a1} \cdot Cv \cdot (T_{a1} - T_0) + x_{a1} \cdot \lambda \quad [3.13]$$

$$Cp_a = 1,012 \frac{kJ}{kg^\circ C} \text{ a } 130^\circ C$$

$$T_{a1} = 130^\circ C$$

$$Cv = 1,914 \frac{kJ}{kg^\circ C} \text{ a } 130^\circ C$$

$$\lambda_{130^\circ C} = 2182,58 \text{ kJ/kg}$$

$$x_{a1} = 0,010004$$

Entonces,

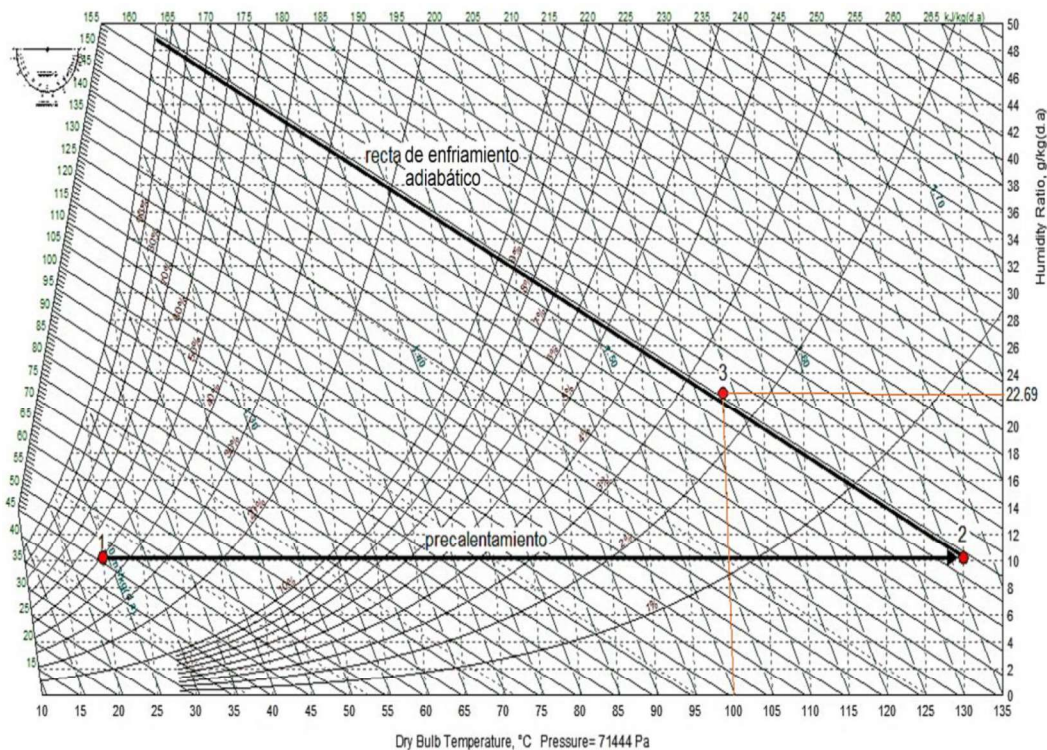
$$h_{a1} = 155,86 \frac{kJ}{kg \text{ aire seco}}$$

Se realiza un proceso iterativo con las ecuaciones del balance de masa [3.3] y energía [3.8], en el cual se fue dando valores a la temperatura del aire de salida. Esto con el objetivo de encontrar las variables desconocidas que son  $G_a$  y  $x_{a2}$ , el flujo de aire seco y la humedad absoluta del aire de salida, respectivamente.

$$M_s \cdot (x_{s1} - x_{s2}) = G_a \cdot (x_{a2} - x_{a1}) \quad [3.3]$$

$$M_s \cdot h_{s1} + G_a \cdot h_{a1} = M_s \cdot h_{s2} + G_a \cdot h_{a2} \quad [3.8]$$

Al establecer la temperatura del aire de salida igual a  $100^\circ\text{C}$ , se ubicó el punto perteneciente a la recta de enfriamiento adiabático a las condiciones del aire de secado en la carta psicrométrica y se presenta en la Figura 4.3. Con dicha temperatura, resulta  $x_{a2}$  igual a  $0,02269 \text{ kg agua.kg}^{-1} \text{ aire seco}$  y  $G_a$  igual a  $7 \text{ 836 kg de aire seco}$ .



**Figura 4.3.** Representación de las condiciones del aire en el proceso de secado en una carta psicrométrica a 2 080 msnm (elevación de Quito).

En la Figura 4.3. se muestra el proceso de precalentamiento del aire, de 20°C a 130°C, luego el proceso de secado es representado por la recta de enfriamiento adiabático que inicia en el punto 2 de esta figura. Finalmente, el punto 3 esquematiza las condiciones de salida del aire de secado.

#### 4.3.7. TANQUES PULMÓN

Estos tanques son utilizados al inicio o final de determinadas operaciones unitarias que requieren de un flujo continuo para su correcta operación o en su defecto para almacenar el producto para la siguiente etapa.

De acuerdo con las necesidades del proceso, se coloca tanques pulmón al final de las siguientes etapas: molienda, prensado, ultrafiltración 1, ultrafiltración 2, y se coloca un tanque con agitación antes de la etapa de secado, éste para realizar el mezclado con los agentes encapsulantes.

El diámetro del tanque se determina por la expresión [4.1], la relación del diámetro con la altura por la relación [4.2] y el espesor de la tapa por la relación [4.3] (Páez, 2013).

$$D = \sqrt[3]{\frac{2V}{\pi}} \quad [4.1]$$

$$H = 2D \quad [4.2]$$

$$t = \frac{P \cdot D}{2S \cdot E - 0,2P} \quad [4.3]$$

Donde:

$D$ : Diámetro interno (m)

$V$ : Volumen (m<sup>3</sup>)

$H$ : Altura (m)

$P$ : Presión de diseño (1 atm)

- E*: Eficiencia de la soldadura  
*S*: Esfuerzo del material  
*t*: Espesor de la tapa (m)

Se considera un sobredimensionamiento del 15% en los tanques. Además, el material de construcción es acero inoxidable 304.

Los tanques de almacenamiento se dimensionaron según los requerimientos obtenidos en los balances de masa y los criterios de diseño presentados en el apartado 13. Las medidas de los tanques se muestran en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4.** Dimensiones de los tanques pulmón

Producto	Capacidad de almacenamiento (kg)	Capacidad de diseño (kg)	Diámetro (m)	Altura (m)	Espesor de la tapa (mm)
Extracto piña molida	713	819	0,79	1,58	0,28
Extracto de jugo de piña	515	595	0,72	1,43	0,25
MFT - retenido	184	212	0,51	1,01	0,18
MFT - permeado	846	973	0,85	1,70	0,30
UF - alimentación - retenido	59	68	0,35	0,70	0,12
UF - permeado	787	905	0,83	1,66	0,29
Mezcla emulsión de bromelina	119	137	0,43	0,86	0,15

#### 4.3.8. EQUIPOS SELECCIONADOS

Los equipos se seleccionaron de catálogos, sobre la base del diagrama BPD, de los balances de masa y de los criterios de diseño, conforme a los requerimientos de cada operación unitaria. En la Tabla 4.5. se muestran a los equipos principales de todo el proceso, su capacidad y el número de unidades.

**Tabla 4.5.** Requerimientos de equipos para la obtención de bromelina en polvo

Proceso	Equipo	Capacidad de Procesamiento	No. de unidades
Recepción y pesaje	Balanza	1 500 kg máx.	1
Clasificación	Banda transportadora de inoxidable AISI 304	4,5 m de largo	1
Lavado y desinfección	Lavadora de vegetales	800 kg.h <sup>-1</sup>	1
Cortado	Molino de cuchillos, Cutter	160 kg.lote <sup>-1</sup>	1
Molienda	Tanque con agitación	770 L	1
	Molino coloidal	300 – 1 000 kg.h <sup>-1</sup>	1
	Tanque pulmón	770 L	1
Prensado	Filtro prensa	356,25 kg.h <sup>-1</sup>	1
	Tanque con agitación	573 L	1
Microfiltración	Tanque - retenido - MFT	205 L	1
	Módulo de MFT	1,4 m <sup>2</sup> área efectiva	3
	Tanque - permeado - MFT	959 L	1
Ultrafiltración	Tanque - retenido - UF	Tanque - retenido - UF	1
	Módulo de UF	Módulo de UF	3
	Tanque - permeado - UF	Tanque - permeado - UF	1
Microencapsulación	Tanque	124 L	1
	Molino coloidal	500 kg.h <sup>-1</sup>	1
Secado	Atomizador	31 kg agua evaporada.h <sup>-1</sup>	1
Mezclado	Mezclador de sólidos	83 kg.lote <sup>-1</sup>	1
Envasado	Manual	N.A.	N.A.

Además, en el Anexo IV se encuentran las hojas técnicas de los equipos principales. Las especificaciones presentadas en estas hojas, están en conformidad con la información suministrada por los fabricantes en los catálogos de estos.

#### 4.4. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Debido al tiempo de duración de algunas operaciones unitarias, se planifica la operación de la planta en 1 turno por día, pero el proceso se divide en 2 partes. Una parte comienza en la recepción de la materia prima y finaliza con la MFT. Paralelamente, se realiza la otra parte del proceso a partir del permeado de la MFT del día anterior, con la ultrafiltración y finaliza con el empaclado del producto.

En la Tabla 4.6. se presenta la duración de cada etapa en la planta industrial, en función a la capacidad de los equipos propuestos y el flujo a procesar de acuerdo con el balance de masa. La información detallada de los equipos se encuentra en sus hojas técnicas, presentadas en el Anexo IV.

**Tabla 4.6.** Duración de las actividades en la planta de extracción de bromelina

Actividad	Capacidad del equipo	Flujo a procesar (kg)	Duración de la actividad (min)
Recepción y pesaje	No aplica	1 000	10
Clasificación	25 kg.min <sup>-1</sup>	1 000	40
Lavado y desinfección	640 kg.h <sup>-1</sup>	950	89
Cortado	160 kg.lote <sup>-1</sup>	950	180
Molienda	300 – 1 000 kg.h <sup>-1</sup>	1 425	107
Prensado	356,25 kg.h <sup>-1</sup>	1 425	240
Microfiltración	236,8 kg permeado.h <sup>-1</sup>	847	143
Ultrafiltración	206,46 kg permeado.h <sup>-1</sup>	787	153
Microencapsulación	500 kg.h <sup>-1</sup>	119	36
Secado	31 kg agua evaporada.h <sup>-1</sup>	100	194
Mezclado	83 kg.lote <sup>-1</sup>	76	45
Envasado	9 envases.min <sup>-1</sup>	839	93

Las operaciones desde la ultrafiltración hasta el envasado se realizan al día siguiente.

En la Tabla 4.7. se presentan la duración con sus respectivos horarios de las operaciones unitarias para la extracción de bromelina en polvo.

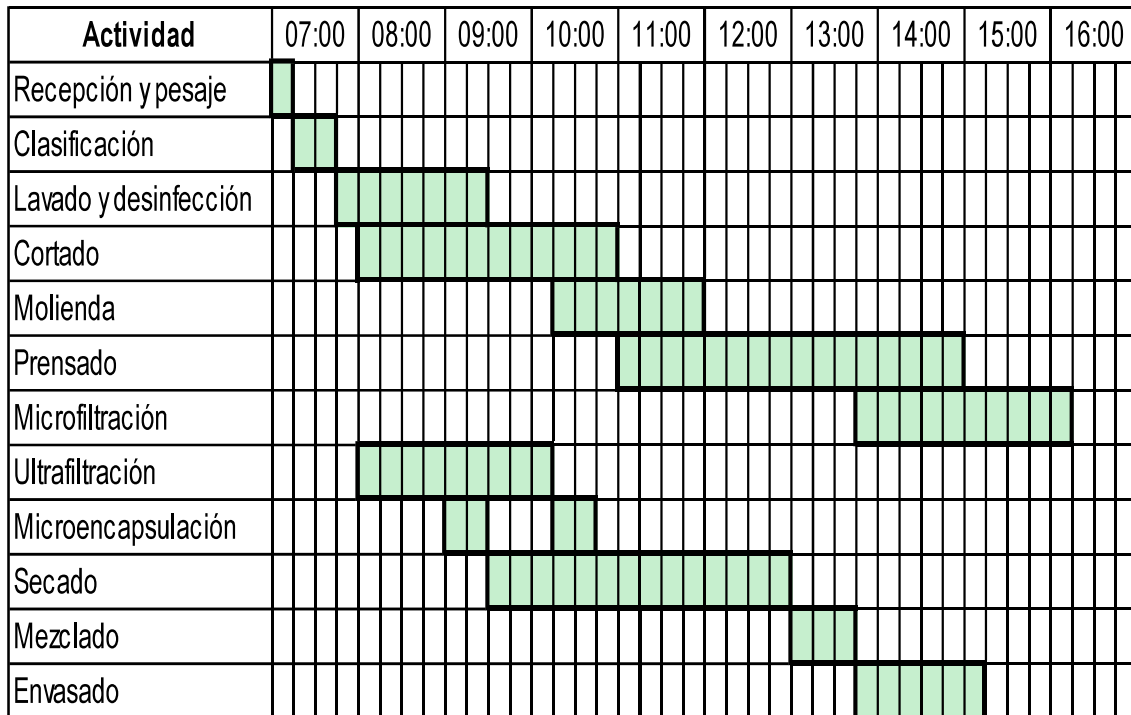
**Tabla 4.7.** Duración y horario de cada operación unitaria en el proceso productivo por día

<b>Actividad</b>	<b>Duración de la actividad (min)</b>	<b>Hora de inicio</b>	<b>Hora final</b>
Recepción y pesaje	10	07:00	07:10
Clasificación	40	07:10	07:50
Lavado y desinfección	89	07:50	09:19
Cortado	180	08:05	11:05
Molienda	107	10:11	11:58
Prensado	240	11:05	15:05
Microfiltración	143	13:53	16:16
Ultrafiltración	153	08:00	10:33
Microencapsulación	36	09:17	09:53
		10:33	11:09
Secado	194	09:53	13:07
Mezclado	45	13:07	13:52
Envasado	93	13:52	15:25

■ Siguiendo día

En función de la producción, duración y horarios se elaboró un diagrama de Gantt que muestra la planificación en el proceso productivo para un día en la Figura 4.4. La microfiltración, la ultrafiltración y microencapsulación se dividió en 2 lotes con el fin de hacer un uso eficiente de los equipos e ir avanzando con la siguiente operación unitaria.





**Figura 4.4.** Diagrama de Gantt para la obtención de bromelina en polvo

## 4.5. BALANCE DE ENERGÍA

El balance de energía del Atomizador se detalla en el apartado 4.3.6.

### CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Mediante las potencias de cada equipo presentados en sus respectivas hojas de especificaciones en el Anexo IV, el tiempo de operación registrado en la Tabla 4.8. y el número de unidades puestas en marcha, se determinan los requerimientos de energía eléctrica por día en la planta y se muestran en la Tabla 4.8.

**Tabla 4.8.** Consumo de energía eléctrica por día en la planta de obtención de bromelina en polvo

Equipo	Componente	Potencia (kW)	Tiempo de operación diaria (h/día)	Consumo de energía eléctrica (kWh/día)
Banda transportadora	Motor reductor trifásico	1,50	0,67	1,00
Lavadora de vegetales	Bomba de aire	1,50	1,48	2,23
	Bomba de ciclo	1,50		2,23
	Correa	0,18		0,27
Molino de cuchillos, Cutter	Motor WN	50,00	3,00	150,00
Tanque con agitación	Motor	0,75	1,78	1,34
Molino coloidal	Motor	4,00	1,78	7,13
Filtro prensa	Motor hidráulico	2,20	4,00	8,80
Tanque con agitación	Motor	0,75	2,00	1,50
Módulo de MFT	Módulos	6,20	3,57	22,16
Módulo de UF	Módulos	11,00	3,83	42,11
Molino coloidal	Motor	1,50	0,59	0,89
Atomizador	Atomizador	1,50	3,23	4,84
	Ventilador Blast	2,20		7,10
	Bomba peristáltica	70,00		226,02
	Ventilador de succión	5,50		17,76
	Calentador eléctrico	81,00		261,54
	Bomba duster	1,50		4,84
Mezclador de sólidos	Motor principal	1,5	0,75	1,13
	Motor verter	0,75		0,56
<b>TOTAL</b>				<b>761,76</b>

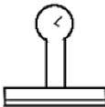
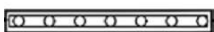
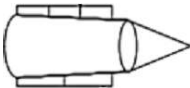

#### 4.6. DIAGRAMA DE FLUJO (PFD)

El diagrama de flujo (PFD) para la extracción de bromelina a partir de residuos de piña se presenta en la Figura 4.5. El proceso comienza con 1 000 kg de residuos de piña al día y al final del proceso se obtienen 420 unidades de 50 g y 439 unidades de 130 g netos de ablandador de carne con base en bromelina.


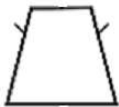

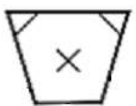



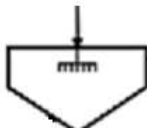
En la Tabla 4.9. se muestra la nomenclatura utilizada para identificar a cada equipo en la planta, esto sirve para interpretar el PFD. En la nomenclatura utilizada, las letras son las siglas que identifican el equipo, el primer número representa al área que está ubicado el equipo y los números del final son secuenciales en orden ascendente conforme al orden de las operaciones unitarias que comprenden el proceso.

Además, el número de corriente, el nombre de la corriente y el flujo másico ( $\text{kg.día}^{-1}$ ) se presentan en la Tabla 4.9. Cabe señalar que la numeración de las corrientes con apóstrofe que aparecen en la Figura 4.5. corresponden a flujos que provienen de tanques pulmón.

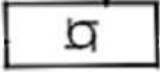
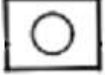
**Tabla 4.9.** Nomenclatura y simbología de equipos en planta

Área	Equipo	Codificación	Esquema gráfico
1 Desinfección y lavado	Balanza	BA - 101	
	Banda transportadora de inoxidable AISI 304	BT - 102	
	Lavadora de vegetales	LV - 103	
2 Extracto de bromelina	Molino de cuchillos, Cutter	CUT - 201	

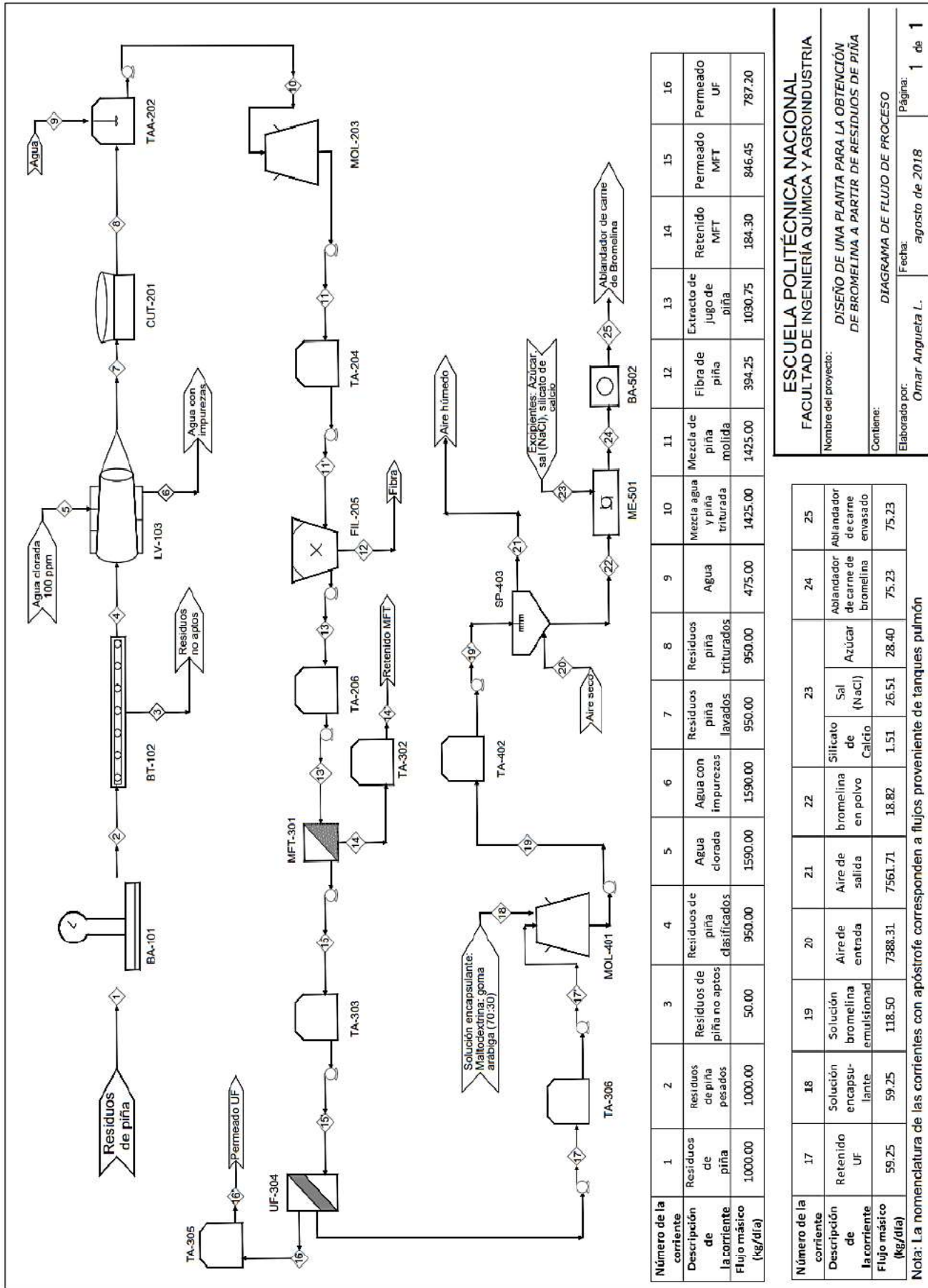
**Tabla 4.9.** Nomenclatura y simbología de equipos en planta (continuación...)

Área	Equipo	Codificación	Esquema gráfico
2 Extracto de bromelina	Tanque con agitación	TAA - 202	
	Molino coloidal	MOL - 203	
	Tanque pulmón	TA - 204	
	Filtro prensa	FIL-205	
	Tanque pulmón	TA -206	-
3 Microfiltración y ultrafiltración	Módulo de MFT	MFT - 301	
	Tanque retenido MFT	TA - 302	-
	Tanque permeado MFT	TA -303	-
	Módulo de UF	UF - 304	
	Tanque - permeado - UF	TA - 305	-
	Tanque - alimentación - UF	TA - 306	-
4 Microencapsulación y secado	Molino coloidal	MOL - 401	
	Tanque pulmón - emulsión	TA - 402	-
	Atomizador	SP - 403	

**Tabla 4.9.** Nomenclatura y simbología de equipos en planta (continuación...)

5 Mezclado y envasado	Mezclador de sólidos	ME - 501	
	Balanza	BA - 502	

-: todos los tanques de nomenclatura "TA - " son tanques tipo pulmón con la simbología igual a "TA - 204"



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**  
 Nombre del proyecto: **DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN DE BROMELINA A PARTIR DE RESIDUOS DE PIÑA**  
 Contiene: **DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO**  
 Elaborado por: **Omar Angueta L.** Fecha: **agosto de 2018** Página: **1 de 1**

Figura 4.5. Diagrama de flujo del proceso (PFD) de extracción de bromelina a partir de residuos de piña

#### **4.7. DISPOSICIÓN EN PLANTA Y PLANOS DE ELEVACIÓN**

La planta tiene un ingreso vehicular que sirve para el transporte de carga pesada en la entrada de materia prima, entrada de insumos y salida del producto terminado, también cuenta con un ingreso peatonal en el cual está la garita de seguridad. El área administrativa se encuentra en el frente de la planta, a la derecha está ubicada la zona de producción y está dividida en: área 1 de desinfección lavado (por donde ingresa la materia prima), área 2 donde se obtiene el extracto de bromelina, área 3 que se compone de los módulos de microfiltración y ultrafiltración, área 4 donde se microencapsula y seca la bromelina y el área 5 donde se mezcla la bromelina en polvo con sus excipientes y se envasa como ablandador de carne. A la izquierda de la planta, se encuentra el área donde se recolectan los desechos, los cuales salen, sin mayor contacto con el proceso productivo, por el mismo lado. En la entrada a la planta se encuentran los baños y vestidores para los trabajadores. Además, para el ingreso a la zona de producción, los trabajadores tienen que pasar por unos lavabos y pediluvios de sanitización ubicados posteriores a los baños y vestidores.

La configuración del área de producción de la planta es en "U", no obstante, tiene una variación en el despacho del producto terminado y no sale por el mismo lado del ingreso de los residuos de piña, esto con el fin de facilitar la salida y entrada en esta parte de la planta. También se identificaron otras áreas como: laboratorio de control de calidad, bodega de insumos y bodega de almacenamiento.

El plano Layout se presenta a continuación, en la Figura 4.6. y Figura 4.7. en los cuales se identifica el flujo de materia prima, los flujos de insumos, el flujo de producto y el flujo del personal. Seguido, se presenta los planos de elevación en la Figura 4.8. que corresponden a los cortes A-A' y B-B' indicados en el plano Layout de la planta.

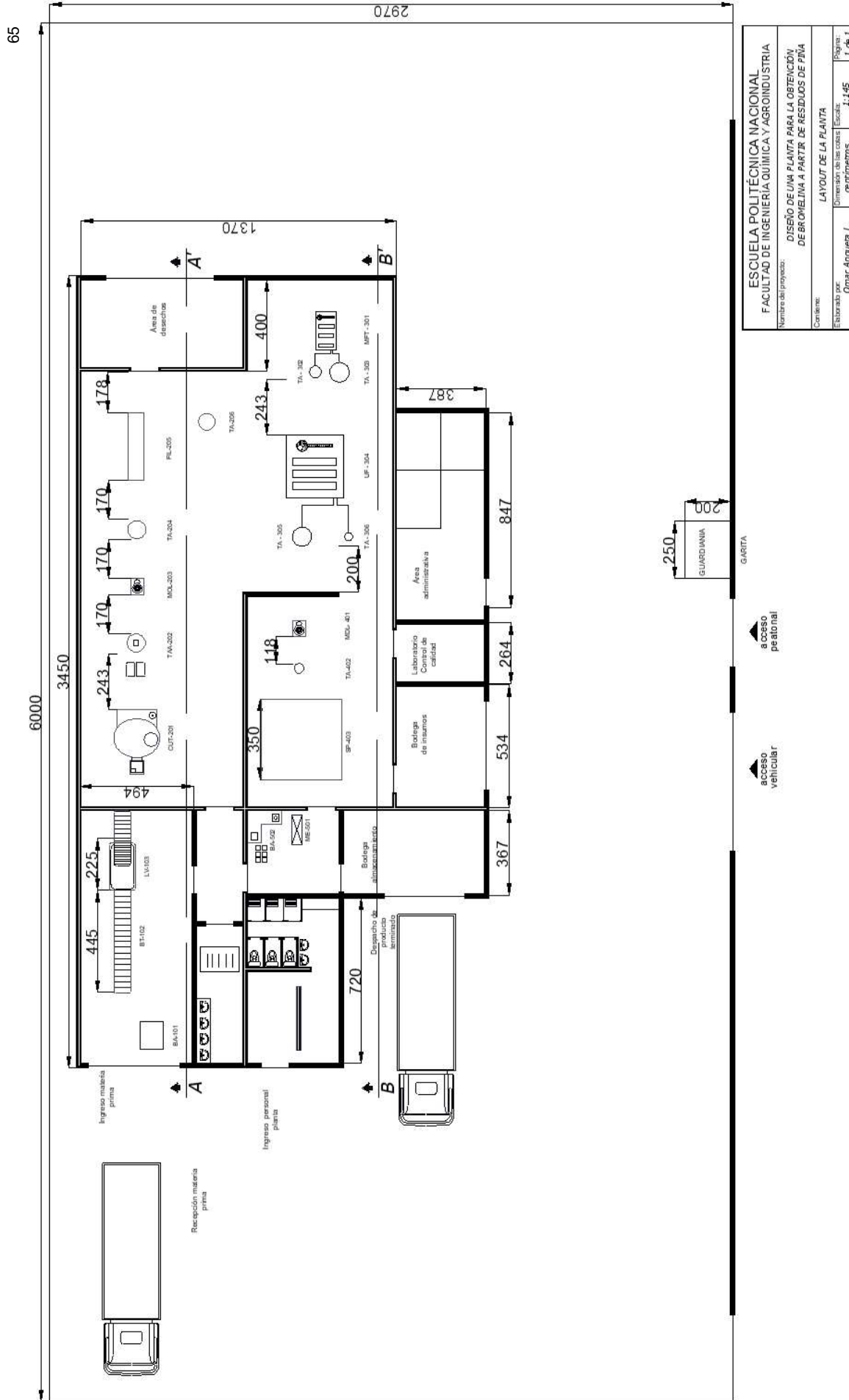


Figura 4.6. Layout de la planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña con cortes



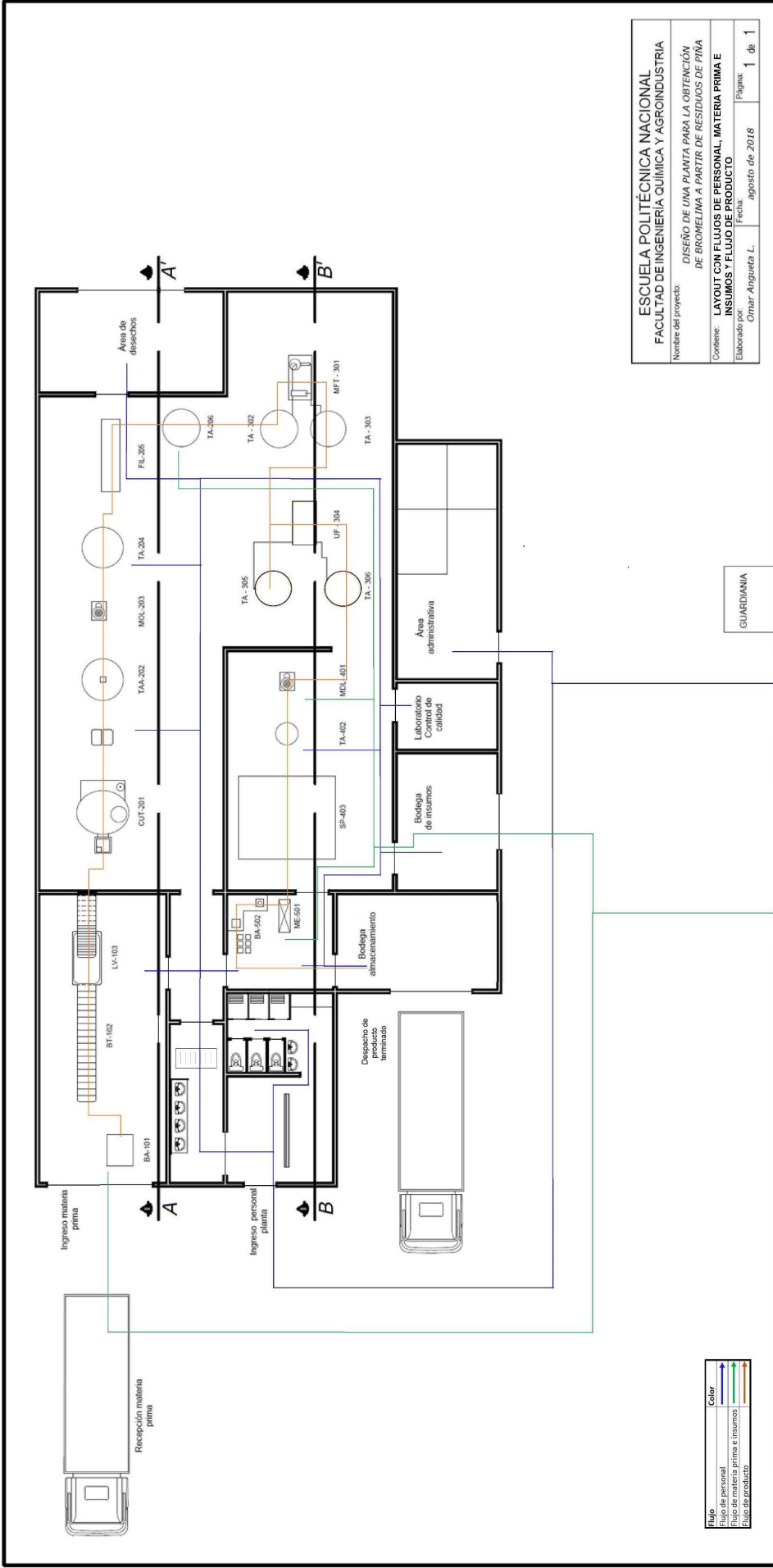


Figura 4.7. Layout de la planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña con flujos de personal, materia prima e insumos y flujo de producto

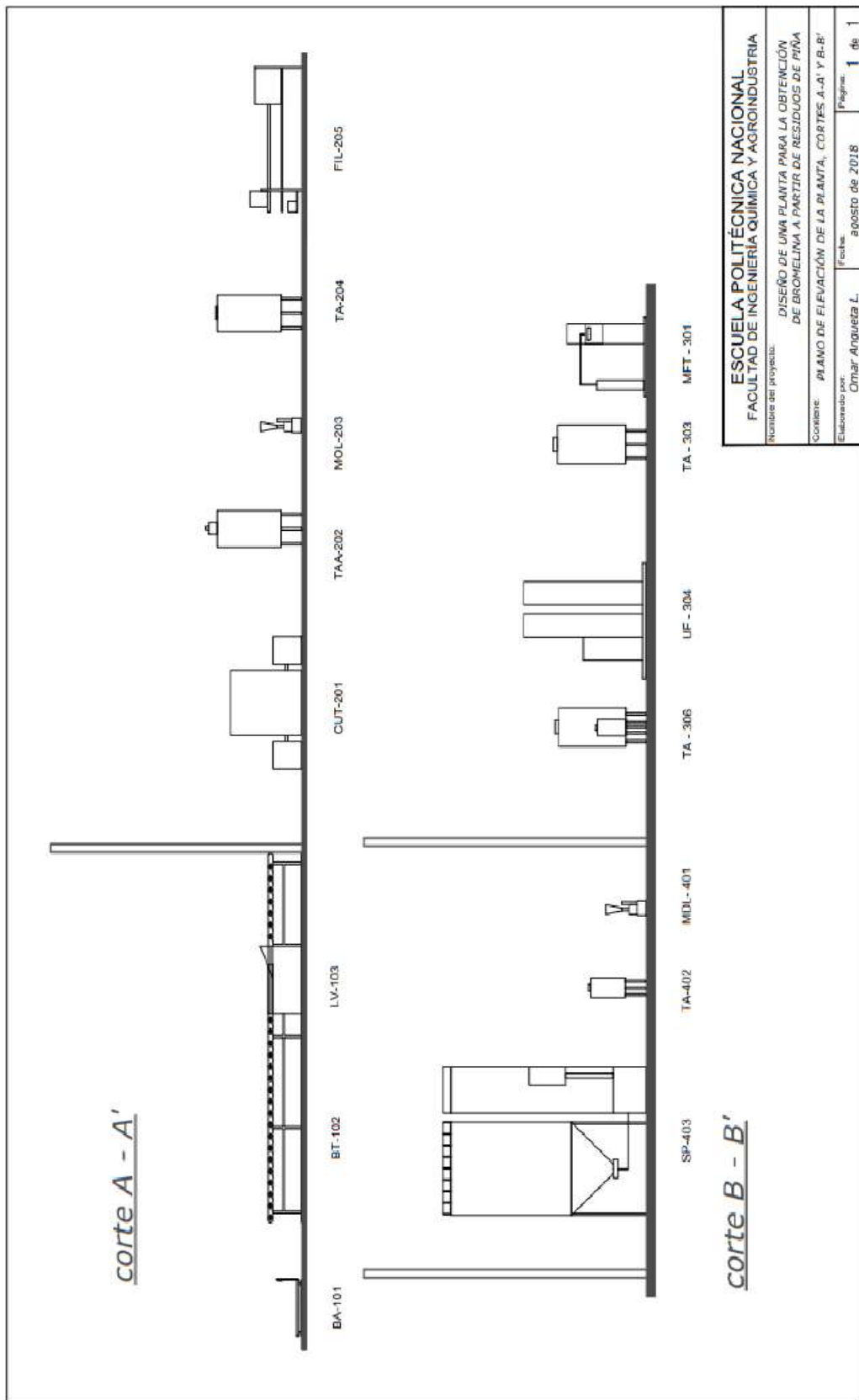
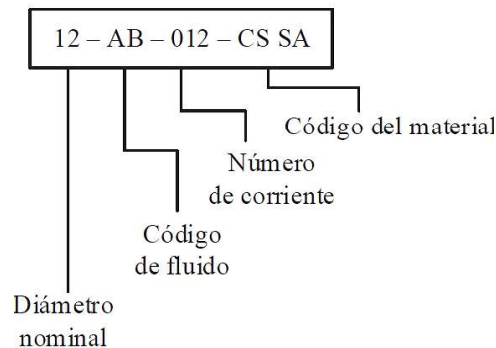


Figura 4.8. Plano de elevación de la planta con cortes A - A' y B - B'

#### 4.8. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS (P&ID)

Sobre la base del diagrama de procesos y el diagrama de diseño de la planta se realiza el diagrama de instrumentación y tuberías (P&ID) y se muestra en la Figura 4.10. La codificación de las tuberías se realiza en función de la nomenclatura PDVSA, como se describe en la Figura 4.9 a continuación:



**Figura 4.9.** Codificación para las tuberías en P&ID  
(Flores, 2017, p. 57)

El material establecido para las tuberías y accesorios (codos y válvulas) es acero inoxidable 304, debido a la naturaleza de los fluidos.

Para las bombas a utilizar en el transporte de fluidos se calcula la potencia de cada bomba mediante la ecuación Bernoulli, denominada como ecuación [4.4]. (Ibarz, Barbosa, 2003, p.186-191).

$$Pot = w \cdot \widehat{W} = g \cdot (z_2 - z_1) + \left( \frac{v_2^2}{2 \alpha} - \frac{v_1^2}{2 \alpha} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \widehat{E}_f \quad [4.4]$$

Donde

$Pot$ : Potencia de la bomba

$w$ : Flujo de masa en  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$

$\widehat{W}$ : Energía o trabajo por unidad de masa

$g$ : Gravedad

$z_i$ : Altura

$v_i$ : Velocidad del fluido

$\alpha$ : Parámetro cinético, depende del régimen del fluido

$P_i$ : Presión de vapor del fluido

$\rho$ : Densidad del fluido

$\hat{E}_f$ : Energía mecánica total perdida

Para el dimensionamiento y selección de las tuberías se emplea la ecuación [4.5] conocido el flujo y la velocidad que circulará el fluido se determinará el diámetro de estas. Se tomarán valores de velocidad recomendadas según el tipo de fluido que circule que se presentan por Branan (2002) (pp. 5-6).

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad [4.5]$$

Donde:

$\dot{m}$  : Flujo másico  $\left(\frac{kg}{s}\right)$

$A$  : Área de la tubería  $(m^2)$

$\rho$  : Densidad del fluido  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

$v$  : Velocidad del flujo  $\left(\frac{m}{s}\right)$

En el caso de las válvulas, dependiendo de cada tipo de servicio, para su selección se considera el caudal, la presión y el tipo de válvula de acuerdo con el servicio requerido.

Para calcular las pérdidas por fricción se utilizará la ecuación [4.6], que relaciona el factor  $f$ , longitud equivalente de cada accesorio en las tuberías, velocidad, diámetro y longitud de la tubería.

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} + f \cdot \sum \frac{Leq}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [4.6]$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción

$L$ : Longitud de la tubería (m)

$D$ : Diámetro de la tubería (m)

$g$ : Gravedad

*Leq*: Longitud equivalente (m)

Se determinó las especificaciones principales de las bombas sobre la base de las ecuaciones [4.4] y [4.6], y se muestran en la Tabla 4.10. En el Anexo VI se presenta un ejemplo de cálculo de para obtener la potencia teórica de las bombas centrífugas empleadas en la planta de extracción de bromelina.

**Tabla 4.10.** Especificaciones de las bombas utilizadas en el proceso

<b>Nomenclatura</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Caída de presión Ef (m<sup>2</sup>.s<sup>-2</sup>)</b>	<b>Potencia teórica (HP)</b>
P - 01	0,75	18,31	0,58
P - 02	0,75	3,99	0,15
P - 03	2,68	18,91	1,69
P - 04	0,25	3,69	0,05
P - 05	0,42	14,73	0,25
P - 06	0,69	10,31	0,32
P - 07	0,69	14,81	0,45
P - 08	0,05	3,65	0,01
P - 09	0,16	17,99	0,11
P - 10	0,14	3,66	0,03
P - 11	0,03	17,98	0,03

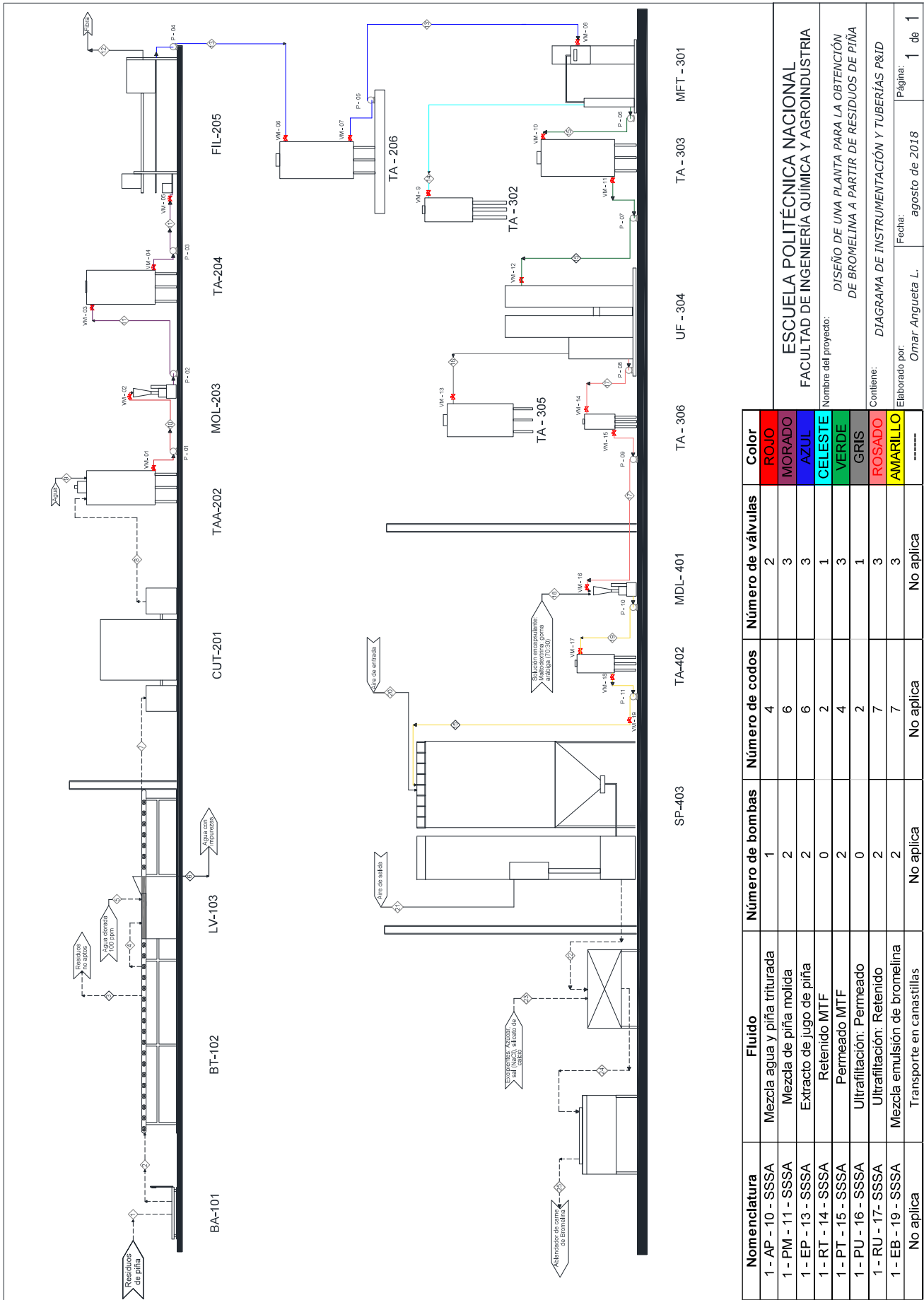


Figura 4.10. Diagrama de instrumentación y tuberías (P&ID) de bromelina a partir de residuos de piña

Nombre del proyecto:  
**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA**

DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA OBTENCIÓN  
 DE BROMELINA A PARTIR DE RESIDUOS DE PIÑA

Contiene:  
**DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y TUBERÍAS P&ID**

Elaborado por:  
 Omar Angueta L.

Fecha:  
 agosto de 2018

Página:  
 1 de 1

## 5. ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Los resultados concluyentes luego de haber efectuado el estudio de pre-factibilidad económica para el diseño de la planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña posibilitaron el determinar los montos relacionados con la inversión, los costos para la instalación y la utilidad neta del mencionado proyecto. Los valores estimados arrojados por el estudio se detallan a través de los siguientes apartados:

### 5.1. INVERSIÓN

En la Tabla 5.1. se pueden observar los rubros que fueron considerados para la disposición de la planta, tomando en cuenta los desgloses de la inversión fija y capital de operaciones, las cuales están detalladas en las Tablas 5.2. a 5.4.

**Tabla 5.1.** Inversión total propuesta para la planta de extracción de bromelina

<b>Inversiones</b>	<b>Valor (dólares)</b>	<b>%</b>
Inversión Fija	\$ 344,397	63%
Capital de operaciones	\$ 202,001	37%
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>\$ 546,398</b>	<b>100%</b>

**Tabla 5.2.** Desglose de los rubros de la inversión fija

<b>Denominación</b>	<b>Valor (dólares)</b>	<b>%</b>
Terrenos y construcción	\$ 118 800	34%
Maquinaria y equipo	\$ 217 058	63%
Otros activos	\$ 1 786	0,5%

**Tabla 5.2.** Desglose de los rubros de la inversión fija (continuación...)

<b>Denominación</b>	<b>Valor (dólares)</b>	<b>%</b>
SUBTOTAL	\$ 337 644	98%
Imprevistos - IF (2%)	\$ 6 753	2%
TOTAL	\$ 344 397	100%

**Tabla 5.3.** Costos de equipos y maquinaria

<b>Denominación</b>	<b>Valor (dólares)</b>
Equipo de producción	\$ 178 151
Gastos de instalación y montaje	\$ 8 908
Camión de trabajo	\$ 30 000
TOTAL	\$ 217 058

**Tabla 5.4.** Desglose del capital de operaciones

<b>Denominación</b>	<b>Tiempo (meses)</b>	<b>Valor (dólares)</b>
Materiales directos	12	\$ 13 882
Mano de obra directa	12	\$ 53 947
Carga fabril	12	\$ 134 171
TOTAL		\$ 202 001

## 5.2. VENTAS NETAS

En la Tabla 5.5. se puede observar la factibilidad de lograr un aproximado de ventas de USD 557 130, de los cuales el rubro más importante constituye la venta de la presentación de 130 gramos de bromelina en polvo. Se debe tomar



en cuenta que el valor unitario de las dos presentaciones de bromelina fluctúa dentro rango de precios de marcas competidoras establecidas en Ecuador, de acuerdo con el estudio de mercado y el grupo objetivo del proyecto.

**Tabla 5.5.** Ventas netas anuales

<b>Producto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor unitario (dólares)</b>	<b>Valor total (dólares)</b>
Bromelina en polvo (55 g)	151 082	\$ 0,99	\$ 149 217
Bromelina en polvo (130 g)	151 082	\$ 2,33	\$ 352 695
TOTAL			\$ 501 913

### 5.3. COSTOS Y GASTOS

En la Tabla 5.6. se pueden observar los costos y gastos que corresponden a materiales directos, mano de obra directa y carga fabril. Además, en la Tabla 5.7. se presenta los detalles de la Carga fabril en la planta.

**Tabla 5.6.** Costos y gastos anuales

<b>Denominación</b>	<b>Tiempo (meses)</b>	<b>Valor (dólares)</b>
Materiales directos	12	\$ 13 882
Mano de obra directa	12	\$ 53 947
Carga fabril	12	\$ 134 171
Gastos administrativos	12	\$ 16 493
Gastos de venta	12	\$ 2 736
TOTAL		\$ 221 230

**Tabla 5.7.** Costo total de la carga fabril de la planta de extracción de bromelina

Descripción	N°	Valor mensual (dólares)	Valor anual (dólares)
<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>			
Guardián - portero	1	\$ 1 051	\$ 12 613
		TOTAL	\$ 12 613
<b>MATERIALES INDIRECTOS</b>			
	Cantidad	Costo unitario (dólares)	Valor anual (dólares)
Hipoclorito de calcio 65 %	57 kg	\$ 4,93	\$ 281,91
Envases	302 164	\$ 0,10	\$ 30 458
Etiquetas	302 164	\$ 0,01	\$ 3 384
Cartón	7 551	\$ 0,25	\$ 1 861
		TOTAL	\$ 35 985
<b>DEPRECIACIÓN</b>			
	Vida útil (años)	Costo (dólares)	Valor anual (dólares)
Construcciones	20	\$ 78 800	\$ 3 940
Equipo de producción	10	\$ 78 151	\$ 17 815
Laboratorio	5	\$ 7 250	\$ 1 450
Imprevistos de la inversión fija	10	\$ 6 753	\$ 675
Camión de trabajo	5	\$ 30 000	\$ 6 000
Muebles y enseres de oficina	10	\$ 890	\$ 89
Computadoras	3	\$ 896	\$ 299
		TOTAL	\$ 30 268

**Tabla 5.7.** Costo total de la carga fabril de la planta de extracción de bromelina  
(continuación...)

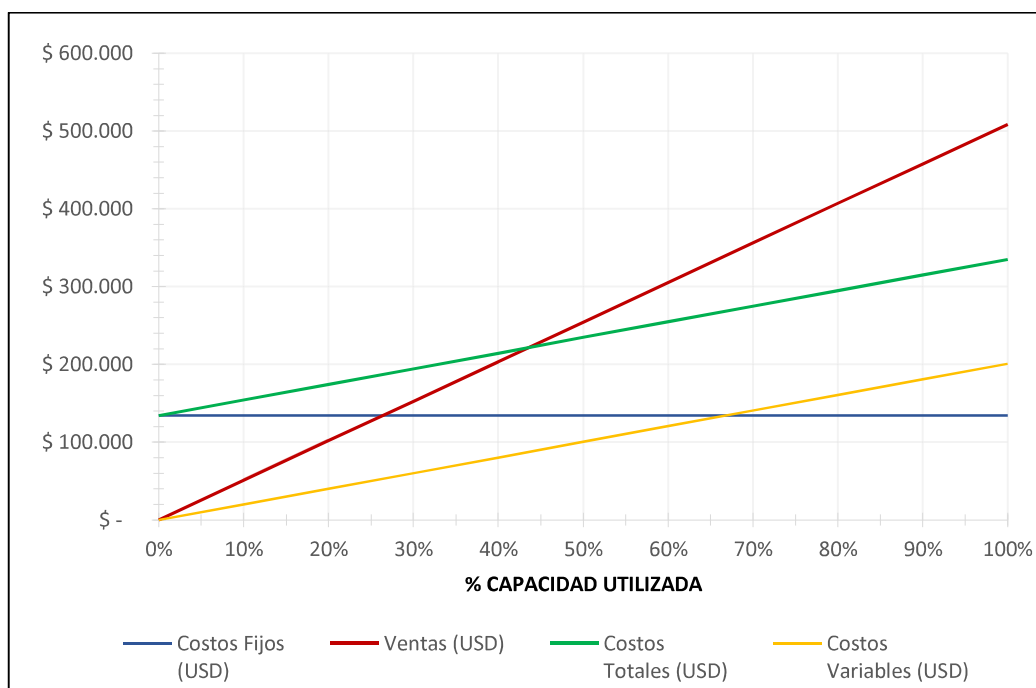
<b>Descripción</b>	<b>N°</b>	<b>Valor mensual (dólares)</b>	<b>Valor anual (dólares)</b>
<b>SUMINISTROS</b>	Cantidad	Costo unitario (dólares)	Valor anual (dólares)
Energía eléctrica (kWh)	276 976	\$ 0,1	\$ 27 698
Combustible (galones)	250	\$ 1,03	\$ 258
Agua (m <sup>3</sup> )	502	\$ 0,75	\$ 376
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 28 332</b>
<b>REPARACIONES Y MANTENIMIENTO</b>		Costo mensual (dólares)	Valor anual (dólares)
Maquinaria y equipo	5%	\$ 904	\$ 10 853
Edificio y construcciones	3%	\$ 164	\$ 1 970
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 12 823</b>
<b>SEGURO</b>			
Maquinaria y equipo	5%	\$ 904	\$ 10 853
Edificio y construcciones	3%	\$ 164	\$ 1 970
		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 12 823</b>
<b>IMPREVISTOS CARGA FABRIL</b>			
1% de todos los rubros anteriores			\$ 1 328
	<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>\$ 134 171</b>

## 5.4. PUNTO DE EQUILIBRIO

En la Figura 5.1. puede observarse que el punto de equilibrio económico se alcanza cuando se usa el 42% de la capacidad y se consigue un monto total de ingresos USD 212,52. Para el cálculo del punto de equilibrio se consideraron los costos fijos y costos variables, según se observa en la Tabla 5.8.

**Tabla 5.8.** Parámetros para calcular el punto de equilibrio

<b>Denominación</b>	<b>Costos Fijos (dólares)</b>	<b>Costos Variables (dólares)</b>
Materiales directos		\$ 13 882
Mano de obra directa		\$ 53 947
Carga fabril		
Mano de obra indirecta	\$ 12 613	
Materiales indirectos	\$ 35 985	
Depreciación	\$ 30 268	
Suministros	\$ 28 332	
Reparación y mantenimiento	\$ 12 823	
Seguros	\$ 12 823	
Imprevistos	\$ 1 328	
Gastos administrativos	\$ 16 493	
Gastos de venta	\$ 2 736	
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 153 400</b>	<b>\$ 67 830</b>



**Figura 5.1.** Punto de equilibrio

## 5.5. INDICADORES FINANCIEROS TIR Y VAN

Con objeto de establecer los indicadores financieros se ha determinado el flujo de caja para 10 años dentro del cual se toma en cuenta el desembolso inversión en el año cero en donde el flujo resultante es negativo. Los ingresos por ventas son tomados en cuenta desde el año uno y se considera que la planta tiene un crecimiento del 5% cada año. En el Anexo VII se presenta el flujo de caja de la planta de extracción de bromelina.

De acuerdo con las consideraciones anteriores se establece que el valor actual neto VAN es positivo y tiene un valor de USD 1 005 488, mientras que la tasa interna de retorno (TIR) llega al 35%, lo cual representa un margen de ganancia mayor al otorgado por las entidades financieras que fluctúa alrededor del 15%.

## 6. CONCLUSIONES

- Los flujos máxicos del proceso completo de extracción de bromelina se definieron a partir de los criterios de diseño establecidos. También, se seleccionaron y diseñaron los equipos conforme las características de los residuos de piña y el producto final deseado.
- Se usa técnicas de separación por membranas en lugar de precipitación de proteínas con disolventes o sales lo cual permite generar un subproducto del retenido de la MFT y permeado de la UF con mayor facilidad, ya que disminuye la necesidad de tratamientos previos de para su aprovechamiento o disposición final. Así, según el escalado realizado en microfiltración tangencial, se requiere de dos módulos, de configuración para 7 membranas cada uno, con un total de 1,4 m<sup>2</sup> de área efectiva filtrante, y para la ultrafiltración son 2 módulos de configuración para 37 membranas con un total de 16,55 m<sup>2</sup> de área efectiva filtrante.
- La configuración del área de producción es en U debido a que las distancias de desplazamiento son más cortas, es más compacta y reduce costos. No obstante, tiene una variación en la salida del producto final para que evitar el riesgo de contaminación.
- Mediante los indicadores financieros VAN de USD 1 005 488 y TIR de 35% es posible determinar que el establecer una planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña si es factible. El punto de equilibrio se alcanza con el 42% de la capacidad utilizada.
- Con base en los resultados de la prefactibilidad económica, se puede decir que, con el establecimiento de la planta de extracción de bromelina a partir de residuos de piña, se puede generar un valor agregado al cultivo y procesamiento de la piña en el Ecuador, (debido a que la industria dedicada a la producción de procesados de piña valorizaría sus desechos o residuos de piña). Además, se puede disminuir la salida de divisas del

país, gracias a la producción nacional de bromelina, no existente actualmente.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arias, M. y Espinel, A. (2006). Evaluación de la utilización de la microfiltración tangencial (MFT) para la fabricación de queso y aprovechamiento del lactosuero. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
2. Baizán, E. (2015). Evaluación de un In Bin Blender para el mezclado de sólidos en la industria alimentaria. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título Licenciatura en ingeniería Química no publicado). Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
3. BCEa. (2018). Estadísticas de comercio exterior de bienes. Importaciones / por subpartida y País Origen. Recuperado de: <http://sintesis.bce.ec:8080/BOE/portal/>
4. Branan, C. (2002). Rules of Thumb for Chemical Engineers. Gulf Publishing Company: Houston, United States.
5. Cadena, A. (2008). Selección de un filtro para clarificar y abrillantar cerveza, a partir del comparativo entre un filtro de placas verticales y un filtro de candelas. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero químico industrial no publicado). Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.
6. Calkins, C. y Sullivan G. (2007). Adding Enzymes to Improve Beef Tenderness. Cattlemen's Beef Board. Centennial, EE. UU.
7. Cárdenas, C. (2016). Diseño de un Filtro para Cerveza Artesanal. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en alimentos no publicado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.



8. Casp, A. y Abril, J. (2003). Procesos de conservación de alimentos. (2a. Ed.) España: Ediciones Mundi-Prensa.
9. Castillo. J. (2011). Caracterización reológica y determinación de tiempo óptimo de mezclado (T.O.M.) en mezclas de polvos para uso veterinario. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título Químico Farmacéutico. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
10. COPRO. (2010). Análisis de enzima. Recuperado de: [https://copro.com.ar/Analisis\\_de\\_enzima.html](https://copro.com.ar/Analisis_de_enzima.html) (agosto, 2018).
11. Coronel, A. (2015). Efecto de las condiciones de secado por aspersión en la obtención de un colorante natural a partir de extractos líquidos de cúrcuma (*Curcuma longa* L). (Proyecto de titulación previo a la obtención del título Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
12. Dalgo V. (2012). Obtención de un concentrado con bromelina a partir de Piña (*Ananas comosus*), y determinación de su actividad enzimática en sustratos proteínicos. Recuperado de: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3061/1/SBQ.27.pdf> (diciembre, 2016).
13. Devakate, R. V., Patil, V. V., Waje, S. S., & Thorat, B. N. (2009). Purification and drying of bromelain. *Separation and Purification Technology*, 64(3), 259-264. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2008.09.012>
14. Días, C. (2014). Estudio comparativo de características nutricionales y físico-químicas de algunas bebidas a base de fruta. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Nutricionista dietista no publicado). Pontificia universidad Javeriana, Bogotá, Colombia
15. ECOAGUA. (2009). Microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración. Edición 1. Documento: TEC-007. Ecoagua Ingenieros. Madrid, España.

16. EDC. (2016). Enzimas para suavizar carne. Recuperado de: <http://www.enzymedevelopment.com/es/applications/tenderizer/> (Julio, 2018).
17. FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN. (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo al mercado. Capítulo 4. Aspectos higiénicos y sanitarios. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4893S/y4893s00.htm#Contents> (Julio, 2018).
18. FDA. (2018). Food Additive Status List. Recuperado de: <https://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/FoodAdditivesIngredients/ucm091048.htm> (agosto, 2018).
19. Flores, E. (2017). Diseño de una planta para el procesamiento de concentrado congelado de maracuyá (*Passiflora edulis*) por evaporación osmótica. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
20. García, A. y López, A. (2012). Biopolímeros utilizados en la encapsulación. 6 (1). 84-97. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Puebla, Recuperado de: [https://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6\(1\)-Garcia-Ceja-et-al-2012.pdf](https://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6(1)-Garcia-Ceja-et-al-2012.pdf) (agosto, 2018).
21. Garza, S. e Ibarz, A. (2010). Effect of Temperature and Concentration on the Density of Clarified Pineapple Juice, *International Journal of Food Properties*, 13: 4, 913 — 920. <http://dx.doi.org/10.1080/10942910902919596>
22. Geankopolis, C. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias* (3ra. Ed.) México: compañía editorial continental.

23. Gil, L. y Maupoey, P. (2017). An integrated approach for pineapple waste valorisation. Bioethanol production and bromelain extraction from pineapple residues. 172 (1), 1224-1231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.284>
24. Heizer, J. y Render B. (2009). Principios de administración de operaciones. (7ma. Ed.) México: Pearson Educación.
25. Hidalgo, D. (2015). Diseño de un secador por atomización para jugo de estevia. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero químico no publicado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
26. Ibarz, A. y Barbosa, G. (2003). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. (1a Ed.) España: Ediciones Mundi-Prensa.
27. ICTSL. (2009). Instrumentación - Microfiltración. Recuperado de: <http://www.ictsl.net/downloads/filterlab2009microfiltracion.pdf> (Julio, 2018).
28. Illescas, S. (2016). Plan de negocio para la producción y comercialización de mermeladas de frutas cítricas en la ciudad de Quito. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en negocios internacionales no publicado). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.
29. INEC. (2011). Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico NSE 2011. Recuperado de: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/Encuesta\\_Estratificacion\\_Nivel\\_Socioeconomico/111220\\_NSE\\_Presentacion.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/Encuesta_Estratificacion_Nivel_Socioeconomico/111220_NSE_Presentacion.pdf) (diciembre, 2017).

30. INEC. (2013). PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN ECUATORIANA, POR AÑOS CALENDARIO, SEGÚN CANTONES. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/> (diciembre, 2017).
31. INEC2. 2013. Total de hogares con viviendas particulares con personas presentes por provincia, cantón y parroquia de empadronamiento, según tenencia de vivienda. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/> (diciembre, 2017).
32. KGWETTER. (2018). High-performance cutters for the trade. Bowl cutter 33 L / 45 L · Bowl cutter Twin 45 L / D 114. Recuperado de: [https://kgwetter.de/fileadmin/user\\_upload/Broschueren/Kutter/KG-Wetter\\_Cutmix\\_Handwerk\\_EN.pdf](https://kgwetter.de/fileadmin/user_upload/Broschueren/Kutter/KG-Wetter_Cutmix_Handwerk_EN.pdf) (Julio, 2018).
33. Lopes, F., Júnior, J., de Souza, R., Ehrhardt, D., Santana, J. y Tambourgi E. (2009). Concentration by Membrane Separation Processes of a Medicinal Product Obtained from Pineapple Pulp, 52 (2), pp. 457-464.
34. Magallanes, J. y Salcedo N. (2013). Extracción, Caracterización y Secado por Aspersión de bromelina Cruda Obtenida a Partir de Residuos de Piña “Perolera” (Anana Comosus)”. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero de alimentos no publicado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador
35. MarketsandMarkets. (2014). Protein Hydrolysis Enzymes Market - New Revenue Pockets. Recuperado de: <https://www.marketsandmarkets.com/ResearchInsight/protein-hydrolysis-enzymes-market.asp> (agosto, 2018).
36. McCormick. (2018). McCormick® meat tenderizer, unseasoned. Recuperado de: <https://www.mccormick.com/spices-and-flavors/other/meat-tenderizer-unseasoned> (agosto, 2018).
37. Moretón, E. (2008). Filtración de lodos industriales. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título Máster en Ingeniería Medioambiental y

- Gestión del Agua no publicado). EOI - Escuela de Organización Industrial, Madrid, España.
38. Murillo, J. y Carrillo A. (2013). Boletín situacional 2013-Piña. Recuperado de:  
<http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/pinia.pdf> (diciembre, 2016).
  39. Nor, M., Ramchandran, L., Dukec, M. y Vasiljevic, T., (2016). Separation of bromelain from crude pineapple waste mixture by a two-stage ceramic ultrafiltration process, 98(1), 142-150. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2016.01.001>
  40. Orna, J. (2012). Estandarización del diseño de secaderos por aspersión de materiales pastosos. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero mecánico no publicado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
  41. Ortiz, M., Vélez, C. y Mejía, E. (2008). Modelos matemáticos de la colmatación de membranas en microfiltración tangencial. Revista ingeniería e investigación, 28 (1), pp. 123-132.
  42. Páez, M. (2013). Manual para el estudiante de diseño de plantas industriales-Curso de pregrado. Quito, Ecuador.
  43. Pulvex. (2018). Molinos Coloidales de Rotor / Estator Cónico de Acero Inoxidable. Modelos y características técnicas. Recuperado de: <https://pulgex.mx/maquinaria/molinos/coloidales/> (agosto, 2018).
  44. QY Research. (2018). Global Bromelain Market Research Report 2018. Recuperado de: <https://www.orianresearch.com/report/global-bromelain-market-research-report-2018/437847> (mayo, 2018).

45. Rajendra, P., Sapna, J., Shraddha y Ajay K. (2012). Properties and Therapeutic Application of Bromelain: A Review, 2012 (976203), 1-6. doi:10.1155/2012/976203
46. Schmidt, H. (1990). Aditivos alimentarios y la reglamentación de los alimentos. Editorial Universitaria. San Francisco 454. Santiago, Chile.
47. Silva, A. y Trigos, J. (2012). Montaje de una planta para la extracción de la enzima proteolítica "bromelina" a partir de los residuos agroindustriales del cultivo de la piña (ananás comosus) variedad Perolera en el municipio de Lebrija, Santander. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/263431024\\_Bromelain\\_An\\_overview\\_of\\_industrial\\_application\\_and\\_purification\\_strategies](https://www.researchgate.net/publication/263431024_Bromelain_An_overview_of_industrial_application_and_purification_strategies) (diciembre, 2016).
48. UNIFIED FACILITIES CRITERIA. (2003). Army plate and frame Filter Press. Recuperado de: [https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/INACTIVE/ufc\\_3\\_280\\_03\\_2003.pdf](https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/INACTIVE/ufc_3_280_03_2003.pdf) (agosto, 2018).
49. UPV. (2016). Mezcla de sólidos. Departamento de Tecnología de Alimentos. Valencia, España. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/82133/Castell%C3%B3Barrera%3BP%C3%A9rez%20-%20Mezcla%20de%20s%C3%B3lidos.pdf?sequence=1>
50. Vega, K. (2017). Extracción de bromelina obtenida a partir de Residuos del procesamiento de piña (Ananas comosus). (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
51. Wong, B. (2016). Incidencia del tiempo y adición de insumos sobre la homogeneidad de alimentos balanceados elaborados en mezcladores. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título Ingeniero

Agroindustrial y de Agronegocios no publicado). Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.

52. Yáñez, R. (2006). Desarrollo de una bebida gaseosa utilizando jugo clarificado de piña (variedad cayena champaca) por microfiltración tangencial. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial no publicado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador
  
53. Yáñez, S. (2015). Plan de negocios para la elaboración de productos alimenticios a base de tomate de árbol en la ciudad de Quito. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera en negocios internacionales no publicado). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.
  
54. Yanza, E. (2003). Diseño de un secador por atomización a nivel piloto para jugo concentrado de tomate de árbol. (Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico no publicado). Escuela Nacional de Colombia, Manizales, Colombia.

## **ANEXOS**



## ANEXO I

### ENCUESTA REALIZADA Y RESULTADOS

**Tabla AI.1.** Encuesta realizada y resultados

				<i>Relativos</i>	<i>Absolutos</i>
Género					
	Masculino			38%	146
	Femenino			62%	237
Edad	(que no esté fuera del rango)				
1. Seleccione el rango de ingresos mensuales de su hogar					
	___ Hasta \$ 500 USD			3%	11
	___ De \$ 501 a \$ 1 500 USD			65%	249
	___ De \$ 1 501 USD en adelante			<b>32%</b>	123
2. ¿En su hogar consumen carne de res en su hogar?					
	___ Si			96%	368
	___ No			4%	15
· En caso afirmativo, estime el consumo semanal de carne en su hogar:					
	___ 1/2 kg			8%	29
	___ 1 kg			35%	129
	___ 2 kg			53%	194
	___ Otro (especifique).....			4%	16
3. ¿Considera que, en el Ecuador, la calidad con relación a la dureza de los productos cárnicos requiere mayor suavidad?					
	___ Si				68%

**Tabla AI.1.** Encuesta realizada y resultados (continuación...)

___No				8%	30
___Tal vez (50%)				24%	88
4. ¿Conoce qué es un ablandador de carne, como aditivo alimentario?					
___Si				68%	250
___No				25%	92
___He escuchado				7%	26
5. ¿En su hogar se utiliza algún tipo de ablandador de carne?					
___Si				56%	206
___No				44%	162
En caso afirmativo, señale entre las siguientes opciones:					
___Residuos vegetales (papaya, piña)				7%	14
___Ablandador en polvo				91%	188
___Otro (especifique) .....				2%	4
6. ¿Estaría dispuesto a comprar un ablandador de carne elaborado sobre la base de Piña?					
___Si				<b>80%</b>	294
___No				3%	11
___Tal vez (50%)				<b>17%</b>	63
<i>Si la respuesta anterior fue "Si" o "Tal vez (50%)", por favor responda las siguientes preguntas. De lo contrario deje las preguntas restantes en blanco:</i>					
<b>Uso:</b> 1 cucharadita por 1 libra de carne					
7. ¿En qué lugar de preferencia compraría este producto?					
___Supermercado				86%	307
___Tienda				11%	40
___Otro (especifique).....				3%	10

**Tabla AI.1.** Encuesta realizada y resultados (continuación...)

8. ¿En qué tipo de presentación le gustaría comprar el producto?				
___ Envase de vidrio			62%	223
___ Plástico			38%	134
___ Otro (especifique).....			0%	0
9. ¿De cuántos gramos preferiría que sean las presentaciones por envase? <b>Nota:</b> 1 porción = 150 g				
___ 10 g (Sirve para 7 porciones / 2,5 lb carne)			7%	25
___ 55 g (Sirve para 41 porciones / 14 lb carne)			28%	99
___ 130 g (Sirve 90 porciones / 32 lb carne)			64%	229
___ Otro (especifique).....			1%	4
10. ¿Hasta qué precio estaría dispuesto a pagar por 55 g de ablandador (Sirve para 41 porciones / 14 lb carne)?				
___ Hasta 1,50 USD			24%	86
___ Hasta 2,50 USD			75%	267
___ Otro (especifique) .....			1%	4

## ANEXO II

### CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA EN LAS CORRIENTES DE SALIDA DE MFT, UF Y SECADO

El procedimiento hasta después de la etapa del prensado es equivalente al reportado por Vega (2017) por lo que se establece el mismo porcentaje de proteína en este punto, igual al 0,21% (p. 112).

Al realizar la siguiente operación unitaria, la MFT, se considera el porcentaje de recuperación de cantidad de proteína del 92,4% de acuerdo con a lo citado por Vega (2017), por lo tanto, el porcentaje de proteína del permeado en esta etapa resulta del 0,2384%. Esto se calcula mediante la relación [AII.1]:

$$\% \text{ Recuperación proteína} = \frac{m_s \cdot x_s}{m_e \cdot x_e} \cdot 100 \quad [\text{AII.1}]$$

Donde:

$m_s$ : Masa del flujo de salida (permeado de la MFT o la UF)

$x_s$ : Porcentaje de proteína en el flujo de salida

$m_e$ : Masa del flujo de entrada (alimentación de la MFT o la UF)

$x_e$ : Porcentaje de proteína en el flujo de entrada

Ejemplo de cálculo:

$$92,4 = \frac{846,45 \cdot x_s}{1\,030,75 \cdot 0,21} \cdot 100$$

$$x_s = 0,2384\%$$

Se calcula el porcentaje de recuperación de cantidad de proteína en la etapa de ultrafiltración, sobre la base del rendimiento en el estudio realizado por Nor et al. (2016), debido a que las condiciones de operación son equivalentes y se muestran a continuación (p. 146):

Flujo de entrada (alimentación de la UF):

$$840 \text{ mL Extracto y } 1,6 \frac{\text{mg proteína}}{\text{mL Extracto}}$$

Flujo de salida (Retenido de la UF):

$$56 \text{ mL Extracto y } 2,5 \frac{\text{mg proteína}}{\text{mL Extracto}}$$

$$\% \text{ Recuperación proteína (UF)} = 10,42\%$$

Entonces, se calcula el porcentaje de proteína del retenido, producto de la UF, y es igual a 0,355%.

En la etapa de secado se establecieron las condiciones de operación del estudio realizado por Vega (2017), por lo tanto, se asume el mismo valor del porcentaje de recuperación de proteína, y es igual al 85,46% (p. 62). De tal manera, se calcula el porcentaje de proteína de la corriente de salida del atomizador mediante la relación [All.1] y el balance de masa; este resulta igual al 0,96%.

**ANEXO III**  
**CANTIDAD PROMEDIO REQUERIDA POR CADA HOGAR Y**  
**FRECUENCIA DE CONSUMO**

**Tabla AIII.1.** Necesidad de ablandador de carne por hogar por día

Consumo de carne		Ablandador (g)	Resultados encuesta (+) (%)	Ablandador por semana (g)
(kg)	(lb)			
0,5	1,1	4,4	8%	0,35
1,0	2,2	8,8	35%	3,09
2,0	4,4	17,6	53%	9,30
1,5	3,3	13,2	4%	0,58
Total			100%	<b>13,31</b>


Nota: 4 g por 1 lb de carne

Con 13,31 gramos de ablandador por semana como requerimiento por cada hogar, la capacidad para suplir a la población demandante efectiva calculada en el inciso 1.3.2. es de 94 t, cabe mencionar que se consideró en las encuestas a todos los hogares que consumen carne y consideran tener una necesidad de un ablandamiento, según la pregunta 2 y 3. Esto hace referencia a un mercado más amplio o un mercado futuro que requieren suplir una necesidad.

## ANEXO IV

### ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

**Tabla AIV.1.** Especificaciones técnicas de la balanza


<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°. 1</b>		
<b>Nombre del equipo:</b> Balanza Industrial de plataforma movable		
<b>Fabricante:</b> NANTONG SUPTRUE INTERNATIONAL TRADE CO.,LTD.	<b>Material:</b> Acero al carbono	<b>Número en la planta:</b> BA - 101
<b>Dimensiones</b>		<b>Parámetros de diseño</b>
<b>Alto:</b>	0,15 metros	Capacidad: 2 Toneladas
<b>Ancho:</b>	1,0 metros	
<b>Profundidad:</b>	1,2 metros	
<b>Principio de funcionamiento:</b> Balanza digital movable para pesar los residuos de pña.		
<b>Modalidad de operación:</b> Por lotes		
<b>Esquema del equipo:</b>		
		

**Tabla AIV.2.** Especificaciones técnicas de la banda transportadora


<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°. 2</b>	
<b>Nombre del equipo:</b> Banda Transportadora	
<b>Fabricante:</b> VULCANO TECNOLOGÍA APLICADA EIRL	<b>Material:</b> Acero inoxidable calidad AISI 304
	<b>Número en la planta:</b> BT - 102
<b>Dimensiones</b>	<b>Parámetros de diseño</b>
<b>Alto:</b> 800 mm <b>Ancho:</b> 700 mm <b>Profundidad:</b> 4550 mm  <b>Banda</b> <b>Ancho:</b> 600 mm <b>Longitud</b> 4500 mm	<b>Potencia:</b> 1.5 kW  Control de velocidad de motor  160kg.h <sup>-1</sup>
<b>Principio de funcionamiento:</b> sirve para transportar diversos productos a una instancia distinta con velocidad ajustable, o clasificación de los productos a lo largo de su recorrido.	
<b>Modalidad de operación:</b> Continua	
<b>Esquema del equipo:</b>	
	



**Tabla AIV.3.** Especificaciones técnicas de lavadora de alimentos

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°. 3</b>	
<b>Nombre del equipo:</b> Lavadora general de alimentos	
<b>Fabricante:</b> DISTRIBUIDORA IMARCA C.A.	<b>Material:</b> Acero inoxidable
	<b>Número en la planta:</b> LV - 103
<b>Dimensiones</b>	<b>Parámetros de diseño</b>
<b>Alto:</b> 1 350 mm <b>Ancho:</b> 900 mm <b>Profundidad:</b> 2 050 mm	Capacidad de producción: de 600 a 800 kg por hora Poder de la bomba de aire: 1,5 KW Presión de agua: 1,6 MPa Poder de la correa: 0,18 KW
<b>Principio de funcionamiento:</b> Realiza el lavado por inmersión en una solución de agua clorada Elimina el sucio pegado a la superficie del producto, a través de un sistema de burbujas de aire. Al final del lavado, sube por un elevador.	
<b>Modalidad de operación:</b> Continua	
<b>Esquema del equipo:</b>	
	

**Tabla AIV.4.** Especificaciones técnicas del molino de cuchillos, Cutter

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN NO. 4</b>	
<b>Nombre del equipo:</b> Molino de cuchillos, Cutter	
<b>Fabricante:</b> SURE INTERNATIONAL	<b>Material:</b> Acero inoxidable – grado alimenticio
	<b>Número en la planta:</b> CUT - 201
<b>Dimensiones</b>	<b>Parámetros de diseño</b>
<b>Tazón</b> <b>Alto:</b> 1 760 mm <b>Ancho:</b> 2 000 mm <b>Profundidad:</b> 2 850 mm  <b>Panel de control:</b> <b>Alto:</b> 450 mm <b>Ancho:</b> 700 mm <b>Profundidad:</b> 1 650 mm	<b>Capacidad por lote:</b> 160 kg <b>Potencia instalada:</b> 50 kW <b>Velocidad de rotación del tazón:</b> 9~16 rpm  <b>Volumen del tazón:</b> 200 L
<b>Principio de funcionamiento:</b> <p>El cortador de vacío corta mediante un cuchillo de corte de alta velocidad. La máquina se caracteriza por una alta velocidad del eje, un buen efecto de emulsificación, un aumento de temperatura bajo, una precisión de procesamiento mejorada y un rendimiento estable.</p>	
<b>Modalidad de operación:</b> Por lotes	
<b>Esquema del equipo:</b> 	

**Tabla AIV.5.** Especificaciones técnicas del molino coloidal


<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°. 5</b>	
<b>Nombre del equipo:</b> Molino coloidal	
<b>Fabricante:</b> Wenzhou Qiangzhong Machinery Technology Co.,Ltd.	<b>Material:</b> Acero inoxidable SUS304
	<b>Número en la planta:</b> MOL - 203
<b>Dimensiones</b>	<b>Parámetros de diseño</b>
<b>Alto:</b> 920 mm <b>Ancho:</b> 570 mm <b>Profundidad:</b> 700 mm	Capacidad: 1 000 kg.h <sup>-1</sup> Grosor de procesamiento: ~ 40 μm Potencia del motor: 4,0 kW
<b>Principio de funcionamiento:</b> <p>Reduce el tamaño de partícula a través de dos platos de acero inoxidable, el primero es un rotor que gira a gran velocidad y el segundo es un plato estacionario. La finura del producto fluctúa, de acuerdo con la ranura de molienda entre los platos mencionados entre 40 y 100 micras.</p>	
<b>Modalidad de operación:</b> Continua	
<b>Esquema del equipo:</b> 	

Tabla AIV.6. Especificaciones técnicas del Filtro Prensa

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°. 6</b>	
<b>Nombre del equipo:</b> Filtro prensa hidráulico	
<b>Fabricante:</b> DAZHANG FILTER EQUIPMENT CO., LTD	<b>Material:</b> Acero al carbono alta calidad Q235 <b>Número en la planta:</b> FIL 205
Dimensiones	Parámetros de diseño
<b>Alto:</b> 900 mm <b>Ancho:</b> 700 mm <b>Profundidad:</b> 2 950 mm	Presión de compensación: 17 MPa Tela del filtro: PP Precisión de filtrado: 50 $\mu\text{m}$ Potencia del motor hidráulico: 2,20 kW 1 Placa: Material: PP Grosor: 50 mm (6,27 L) Diámetro interno: 450 mm Superficie filtrante: 0,2025 m <sup>2</sup>
<b>Principio de funcionamiento:</b> <p>Consiste en un grupo de placas que tienen acopladas telas filtrantes. Las placas son contenidas en marcos, de tal manera que su estructura se puede separar o unirse y permanecer sellados. Los marcos son unidos por una prensa hidráulica y permiten espacios vacíos donde posteriormente pasa la suspensión a filtrar y va reteniendo los sólidos. El final del proceso ocurre al llenarse los marcos de material sólido y ser vaciados.</p>	
<b>Modalidad de operación:</b> Por lotes	
<b>Esquema del equipo:</b> 	

**Tabla AIV.7.** Especificaciones técnicas del módulo de microfiltración tangencial

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°. 7</b>	
<b>Nombre del equipo:</b> Módulo de microfiltración tangencial	
<b>Fabricante:</b> DT SEPARTECH	<b>Material (estructura):</b> Acero inoxidable AISI 304
	<b>Número en la planta:</b> MFT - 301
<b>Dimensiones</b>	<b>Parámetros de diseño</b>
<b>Alto:</b> 1 950 mm <b>Ancho:</b> 915 mm <b>Profundidad:</b> 1 700 mm	<i>Membrana</i> Material: cerámica Diámetro de poro: 0,2 $\mu\text{m}$ Área filtrante efectiva (por módulo): 1,4 m <sup>2</sup> Potencia: 6,2 kW
<b>Principio de funcionamiento:</b> <p>La corriente alimentada al sistema se separa en dos, una es el material que no pasa por la membrana, la segunda es el permeado que atraviesa esta. Existe una diferencia de presión entre las dos fases del sistema, esta provoca el paso del permeado de la alimentación a través de la membrana.</p>	
<b>Modalidad de operación:</b> Continua	
<b>Esquema del equipo:</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>	

**Tabla AIV.8.** Especificaciones técnicas del módulo de ultrafiltración

<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°. 9</b>	
<b>Nombre del equipo:</b> Módulo de ultrafiltración tangencial	
<b>Fabricante:</b> DELLA TOFFOLA GROUP	<b>Material:</b> Acero inoxidable AISI 304
	<b>Número en la planta:</b> UF - 304
<b>Dimensiones</b>	<b>Parámetros de diseño</b>
<b>Alto:</b> 2 950 mm <b>Ancho:</b> 2 500 mm <b>Profundidad:</b> 2 750 mm	<i>Membrana</i> Material: cerámica (Tubular de zirconia y soporte de $\alpha$ -alumina) Diámetro de poro: UF: 10 kDa Área filtrante efectiva (por módulo): 1 módulo contiene 37 membranas. 61 canales por membrana. Área de la membrana: 0,45 m <sup>2</sup> Área filtrante total: 16,65 m <sup>2</sup> Potencia: 11.0 kW
<b>Principio de funcionamiento:</b> La que la presión fuerza un líquido hacia una membrana semipermeable. Los solutos de alto peso molecular y sólidos suspendidos quedan retenidos, al mismo tiempo que los solutos de bajo peso molecular y el agua y traspasan la membrana.	
<b>Modalidad de operación:</b> Continua	
<b>Esquema del equipo:</b> 	

**Tabla AIV.9.** Especificaciones técnicas del Atomizador

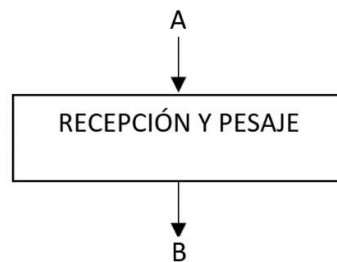
<b>HOJA DE ESPECIFICACIÓN N°. 10</b>	
<b>Nombre del equipo:</b> Atomizador – Atomizador	
<b>Fabricante:</b> GENYOND MACHINERY INDUSTRIAL GROUP LIMITED	<b>Material:</b> Acero inoxidable SUS304
	<b>Número en la planta:</b> SP - 403
<b>Dimensiones</b>	<b>Parámetros de diseño</b>
<b>Alto:</b> 4 800 mm <b>Ancho:</b> 3 500 mm <b>Profundidad:</b> 3 500 mm	Atomizador: 1,50 kW Ventilador Blast: 2,20 kW Bomba peristáltica: 70 kW Ventilador - succión: 5,5 kW Calentador eléctrico: 81 kW Bomba Duster: 1,50 kW Capacidad de evaporación: 50 kg.h <sup>-1</sup>
<b>Principio de funcionamiento:</b> <p>El método comienza al generar diminutas gotas pulverizadas del fluido a secar, así se incrementa mil veces el área superficial específica y se facilita la evaporación, simultáneamente ingresa a la cámara de secado el medio secante que generalmente es aire caliente, lo que provoca la evaporación del disolvente.</p>	
<b>Modalidad de operación:</b> Continua	
<b>Esquema del equipo:</b> 	

## ANEXO V

### DETALLE DEL BALANCE DE MASA

En las etapas de prensado, microfiltración tangencial y filtrado se consideran los porcentajes de fibra, retenido y líquido filtrado de los resultados obtenidos en el estudio realizado por Vega (2017) que se registra su Anexo V (p. 112).

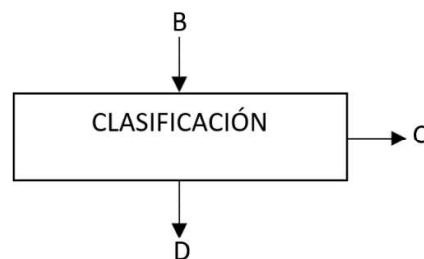
#### AV.1 BALANCE DE MASA EN LA RECEPCIÓN Y PESAJE



**Figura AV.1.** Proceso de Recepción y pesaje

Materia prima (residuos de piña):  $A = B = 1\,000 \frac{kg}{día}$

#### AV.2 BALANCE DE MASA EN LA CLASIFICACIÓN



**Figura AV.2.** Proceso de clasificación

Residuos de piña no aptos (material descompuesto, objetos extraños, otros):

$$C = 5\% \cdot (B)$$



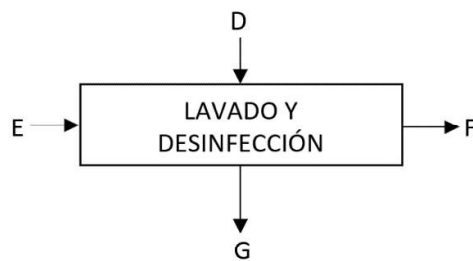
$$C = 0,05(1\ 000) = 50 \frac{kg}{día}$$

Residuos de piña clasificados:

$$B = C + D$$

$$D = 1\ 000 - 50 = 950 \frac{kg}{día}$$

### AV.3. BALANCE DE MASA EN EL LAVADO Y DESINFECCIÓN



**Figura AV.3.** Proceso de lavado y desinfección

De acuerdo con el apartado 3.2, se establece la cantidad de agua clorada requerida en esta etapa:

$$E = \frac{530\ kg}{0,5\ h} \cdot 1,5 \frac{h}{día} = 1\ 590 \frac{kg}{día}$$

Cantidad de hipoclorito de calcio requerida para obtener 100 ppm de concentración:

$$100\ ppm = 100 \frac{mg\ Ca(ClO)_2}{kg\ H_2O}$$

$$100 \frac{mg\ Ca(ClO)_2}{kg\ H_2O} \cdot \frac{1\ kg\ Ca(ClO)_2}{1\ 000\ 000\ mg\ Ca(ClO)_2} \cdot (1590 - z) = z$$

$$z = 0,1589 \frac{kg\ Ca(ClO)_2}{día}$$

Donde:

$z$ : Cantidad de hipoclorito de calcio ( $\text{kg}\cdot\text{día}^{-1}$ )

Agua con impurezas (después del lavado):  $E = F = 1\,590 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$

Residuos de piña lavados:  $D + E = F + G$

$$E = G = 950 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

#### AV.4. BALANCE DE MASA EN CORTADO

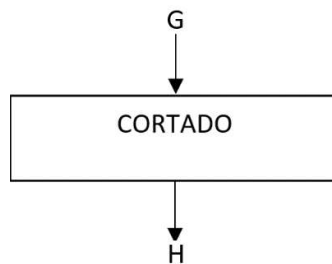


Figura AV.4. Proceso de cortado

Residuos de piña cortados:  $G = H = 950 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$

#### AV.5. BALANCE DE MASA EN MOLIENDA

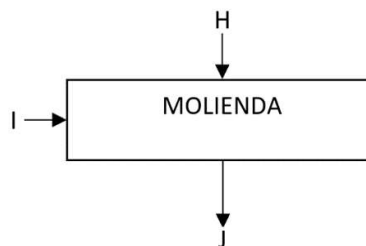


Figura AV.5. Proceso de molienda

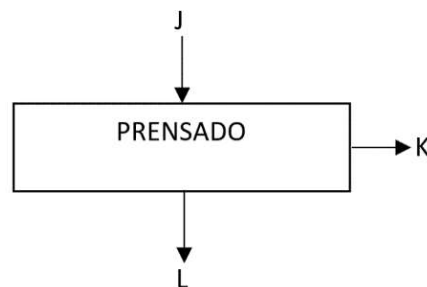
Cantidad de agua requerida (apartado 3.4); 1 parte de agua por 2 de Residuos de piña cortados:

$$I = \frac{H}{2} = \frac{950}{2} = 475 \frac{kg}{día}$$

Residuos de piña molidos:

$$J = H + I = 950 + 475 = 1\,425 \frac{kg}{día}$$

#### AV.6. BALANCE DE MASA EN PRENSADO



**Figura AV.6.** Proceso de prensado

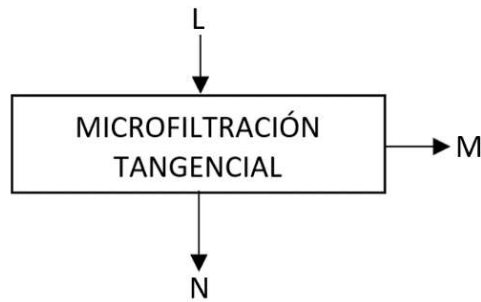
Fibra de piña removida en el prensado:

$$K = 27,67\% \cdot J = 0,2767 \cdot 1\,425 = 394,25 \frac{kg}{día}$$

Extracto de jugo de piña:

$$L = J - K = 1\,425 - 394,25 = 1\,030,75 \frac{kg}{día}$$

### AV.7. BALANCE DE MASA EN MICROFILTRACIÓN TANGENCIAL

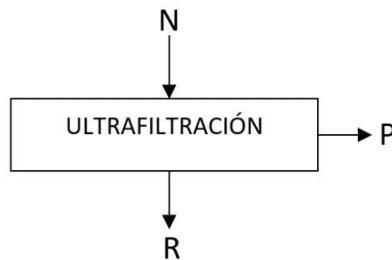


**Figura AV.7.** Proceso de microfiltración tangencial

$$\text{Retenido: } M = 17,88\% \cdot L = 0,1788 \cdot 1\,030,75 = 184,30 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Permeado: } N = L - M = 1\,030,75 - 184,30 = 846,45 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

### AV.8. BALANCE DE MASA EN LA ULTRAFILTRACIÓN



**Figura AV.8.** Proceso de ultrafiltración

El producto de la UF son el retenido (R) y permeado (P). De acuerdo con el apartado 3.7,  $FRV=15$ . Entonces, utiliza la relación [2.1]:

$$FRV = 15 = \frac{m_A \cdot \rho_R}{m_R \cdot \rho_A}$$

$$\text{Sea } m_A = N; \rho_A = 1\,015 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \rho_R = 1\,066 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

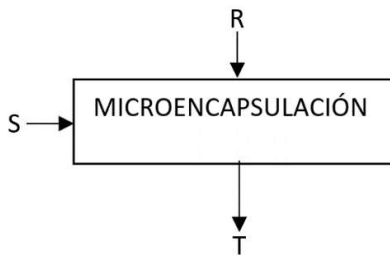
$$15 = \frac{846,45 \cdot 1\,066}{m_R \cdot 1\,015}$$

Sea  $m_R = R = 59,25$

Permeado:  $N = R + P$

$$P = 846,45 - 59,25 = 787,20 \frac{kg}{día}$$

### AV.9. BALANCE DE MASA EN MICROENCAPSULACIÓN

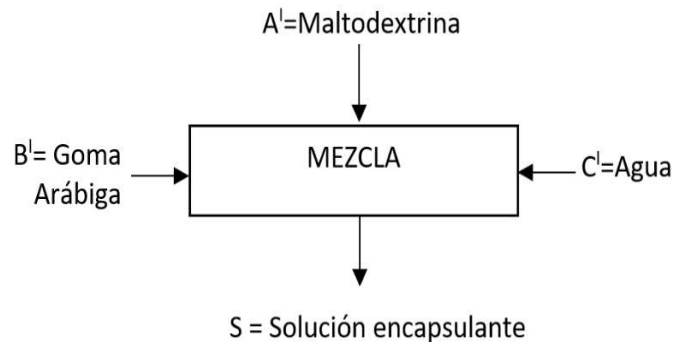


**Figura AV.9.** Proceso de microencapsulación

Sobre la base al apartado 3.8, se presentan las siguientes relaciones:

Solución encapsulante:  $S = \frac{R}{1} = 59,25 \frac{kg}{día}$

La solución encapsulante está compuesta por 70 partes de maltodextrina y 30 partes de goma arábica. La relación de los agentes encapsulantes con el disolvente (agua) es de 1:3.



**Figura AV.10.** Solución micro encapsulante

Agua requerida para la solución encapsulante:  $C^I = \frac{3}{4} \cdot S = \frac{3}{4} \cdot 59,25 = 44,44 \frac{kg}{día}$

Agentes encapsulantes:

$$A^I + B^I = S - C^I = 59,25 - 44,44 = 14,81 \frac{kg}{día} \quad [AV.1]$$

$$\frac{A^I}{B^I} = \frac{70}{30} \quad [AV.2]$$

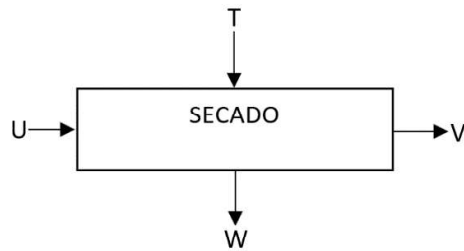
Reemplazo [AV.2] en [AV.1]:  $\frac{70}{30} B^I + B^I = 14,87 \frac{kg}{día}$

$$B^I = 4,44 \frac{kg}{día}$$

$$A^I = 10,37 \frac{kg}{día}$$

Solución de bromelina micro encapsulada (T):  $T = R + S = 59,25 + 59,25 = 118,50 \frac{kg}{día}$

### AV.11. BALANCE DE MASA EN EL SECADO



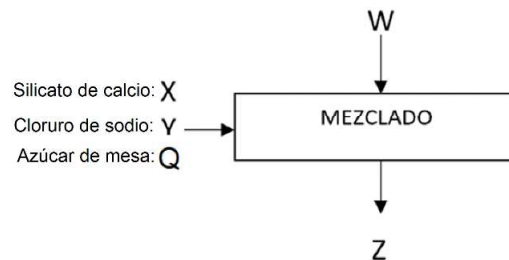
**Figura AV.11.** Proceso de secado

El porcentaje final agua removida de la solución de bromelina con micro encapsulante, se determina con el fin de obtener un 6% de contenido de humedad final en el producto luego de ser secado, como se indica en el apartado 4.3.3, donde se muestra la cantidad de agua removida, y esta representa el 84,12% de la corriente de alimentación.

$$V = 84,12\% \cdot T = 0,8412 \cdot 118,50 = 99,69 \frac{kg \text{ agua}}{día}$$

$$\text{Bromelina en polvo: } W = T - V = 118,50 - 99,69 = 18,82 \frac{kg}{día}$$

### AV.12. BALANCE DE MASA EN EL MEZCLADO



**Figura AV.12.** Proceso de mezclado

Se añade 1,5 kg de Silicato de calcio (X) como agente anti aglutinante que representa el 2% de la mezcla total, de acuerdo con las recomendaciones de la FDA (2018).  $X = 1,51 \frac{kg}{día}$

Se añade 26,6 kg sal de mesa (NaCl) (Y) como excipiente del producto final, también, se añade 28,5 kg azúcar de mesa (Q) como excipiente del producto final, el ablandador de carne.  $Y = 26,62 \frac{kg}{día}$ .  $Q = 28,51 \frac{kg}{día}$

Para esto, se consideró que el ablandador de carne debe registrar de 1 000 a 3 000 MCU de actividad enzimática por libra de carne (EDC, 2016), acorde al apartado 3.10.

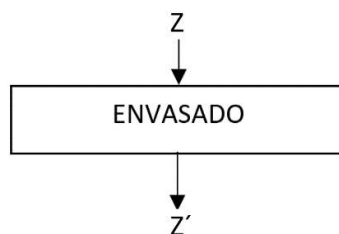
Siendo 1 MCU = 1,5 GDU

$$1\ 560\ CDU = 2\ 500\ GDU\ (COPRO,\ 2012).$$

Ablandador de carne a base de bromelina (Z):

$$Z = X + Y + Q + W = 1,5 + 26,6 + 28,5 + 18,8 = 75,23 \frac{kg}{día}$$

### AV.13. BALANCE DE MASA EN EL ENVASADO



**Figura AV.13.** Proceso de envasado

Ablandador de carne a base de bromelina envasada:  $Z = Z' = 75,23 \frac{kg}{día}$



## ANEXO VI

### EJEMPLO DE CÁLCULO PARA OBTENER LA POTENCIA DE LAS BOMBAS

Mediante la ecuación de Bernoulli [4.4] se establece la potencia de las bombas propuestas en el proceso de extracción de bromelina (Ibarz y Barbosa, 2003, pp. 186-191):

$$Pot = w \cdot \widehat{W} = g \cdot (z_2 - z_1) + \left( \frac{v_2^2}{2 \alpha} - \frac{v_1^2}{2 \alpha} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \widehat{E}_f$$

Donde:

$Pot$ : Potencia de la bomba

$w$ : Flujo de masa en  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$

$\widehat{W}$ : Energía o trabajo por unidad de masa

$g$ : Gravedad

$z_i$ : Altura

$v_i$ : Velocidad del fluido

$\alpha$ : Parámetro cinético, depende del régimen del fluido

$P_i$ : Presión de vapor del fluido

$\rho$ : Densidad del fluido

$\widehat{E}_f$ : Energía mecánica total perdida

El ejemplo de cálculo se realiza para la corriente 10:

Se determina la velocidad del fluido. Para determinar el flujo másico, se considera el tiempo de operación que se muestra en la planificación de la producción:

$$v_1 = \frac{Q}{A} = \frac{m}{\frac{4}{\pi} \cdot \rho \cdot D^2}$$

$$v_1 = \frac{713/3 \ 206 \ \text{kg}}{\frac{4}{\pi} \cdot 1 \ 064 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,03001 \ \text{m}} = 0,27 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se calcula el número de Reynolds para establecer si el flujo se encuentra en régimen laminar ( $Re < 2\,000$ ) o turbulento:

$$Re = \frac{v \cdot Di}{\gamma}$$

Donde:

$\gamma$ : Viscosidad cinemática (corriente 10:  $6,46E-06 \text{ m}^2/\text{s}$ )

$Di$ : Diámetro interno de la tubería

$$Re = \frac{0,27 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,03001 \text{ m}}{6,46E-06 \text{ m}^2/\text{s}} = 1\,258$$

Por lo tanto, el factor de fricción es:  $f = \frac{64}{Re}$

$$f = \frac{64}{1\,258} = 0,051$$

Entonces, las pérdidas por fricción se calculan a partir de la siguiente ecuación. La corriente 10, de acuerdo con el diagrama de instrumentación y tuberías P&ID registra dos válvulas y dos codos de  $90^\circ$ , también se conoce la longitud de la tubería igual a 2,8 m.

Para calcular las pérdidas por fricción de los accesorios (codos y válvulas) se utilizaron las siguientes expresiones:

$$E_{f\text{válvulas}} = k_2 \frac{\text{unidades}}{2}$$

$$E_{f\text{codos}} = k_3 \frac{\text{unidades}}{2}$$

Donde,  $k_2$  es igual a 4,3 y  $k_3$  tiene un valor de 0,75.

$$H_B = Z_2 - Z_1 + f \frac{L}{Di} \cdot \frac{v^2}{2g} + f \cdot \sum \frac{Leq}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción

$L$ : Longitud de la tubería (m)

$D$ : Diámetro de la tubería (m)

$g$ : Gravedad

$Leq$ : Longitud equivalente (m)

$$H_B = 2,08 \text{ m} - 0,051 \cdot \frac{2,8 \cdot 0,27^2}{0,0301 \cdot 2 \cdot 9,81} + 17,975 = 20,07 \text{ m}$$

$$Potencia_{teórica} = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_B}{75} = \frac{0,000209 \frac{kg}{s} \cdot 1\,064 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 20,07 \text{ m}}{75}$$

$$Potencia_{teórica} = 0,58 \text{ HP}$$

**ANEXO VII**  
**FLUJO DE CAJA**

**Tabla A VII.1.** Flujo de caja del proyecto de extracción de bromelina en polvo a partir de residuos de piña

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>Inversión Inicial</b>	-546 398										
Aporte al capital de trabajo	-218 559										
Capital financiado	327 839										
Ingresos ventas bromelina en polvo	-	501 913	527 008	553 359	581 027	610 078	640 582	672 611	706 242	741 554	778 631
Ingresos venta de torta	-	6 662	6 995	7 345	7 712	8 097	8 502	8 927	9 374	9 843	10 335
Materiales directos	-	-13 882	-14 576	-15 305	-16 070	-16 874	-17 717	-18 603	-19 533	-20 510	-21 536
Carga fabril	-	-134 171	-140 880	-147 924	-155 320	-163 086	-171 240	-179 802	-188 792	-198 232	-208 144
Gastos de ventas	-	-2 736	-2 873	-3 016	-3 167	-3 326	-3 492	-3 667	-3 850	-4 042	-4 244
Gastos administrativos	-	-16 493	-17 318	-18 184	-19 093	-20 047	-21 050	-22 102	-23 207	-24 368	-25 586
Mano de obra directa	-	-53 947	-56 645	-59 477	-62 451	-65 574	-68 852	-72 295	-75 910	-79 705	-83 690

**Tabla AVII.2.** Flujo de caja del proyecto de extracción de bromelina en polvo a partir de residuos de piña (continuación ...)

Concepto	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Costos totales	-	-221 230	-232 291	-243 906	-256 101	-268 906	-282 352	-296 469	-311 293	-326 857	-343 200
Utilidad Marginal	-	287 345	301 712	316 797	332 637	349 269	366 733	385 069	404 323	424 539	445 766
Impuestos (22%)	-	-63 216	-66 377	-69 695	-73 180	-76 839	-80 681	-84 715	-88 951	-93 399	-98 068
Depreciaciones	-	-30 268	-30 268	-30 268	-29 969	-29 969	-22 519	-22 519	-22 519	-22 519	-22 519
Utilidad neta	-	193 861	205 067	216 834	229 488	242 461	263 532	277 835	292 852	308 621	325 178
Depreciaciones	-	30 268	30 268	30 268	29 969	29 969	22 519	22 519	22 519	22 519	22 519
Flujo de efectivo operacional	-	224 129	235 335	247 102	259 457	272 430	286 051	300 354	315 372	331 140	347 697
Interés préstamo	-	-24 588	-22 129	-19 670	-17 212	-14 753	-12 294	-9 835	-7 376	-4 918	-2 459
Amortización del préstamo	-	-32 784	-32 784	-32 784	-32 784	-32 784	-32 784	-32 784	-32 784	-32 784	-32 784
Flujo Neto	-218 559	166 757	180 422	194 648	209 462	224 893	240 974	257 735	275 211	293 439	312 455