

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Química



Trabajo de Diploma:

PROPUESTA TECNOLÓGICA DEL PROCESO DE OBTENCION
DE BROMELINA A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES
DE PIÑA EN LA PLANTA BURKE AGRO, S.A.

PRESENTADO POR:

Br. Ana Gabriela Vílchez Tapia

Br. Ronald José Baldelomar Cerda

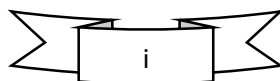
PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

TUTOR:

José Francisco Vílchez M.

Managua, 13 de Noviembre, 2020



Agradecimientos

Agradecemos a Dios por darnos la sabiduría para poder culminar nuestra carrera universitaria.

Agradecemos a nuestros padres por su apoyo incondicional a lo largo de nuestro desarrollo profesional.

Le agradecemos a nuestro tutor José Francisco Vílchez, por el apoyo brindado para el proceso de elaboración de nuestra tesis y su juicio crítico para la mejora del proyecto.

Agradecemos al encargado del laboratorio de ingeniería de los alimentos Alejandro Hernández por su apoyo incondicional en los procesos de laboratorio.

Opinión del catedrático guía

Honorables miembros del Jurado Calificador
Sus manos

En un informe, elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, se revela que en América Latina se pierden o desperdician hasta 127 mil toneladas de alimentos al año. Existen instituciones académicas y estatales vinculadas al sector agropecuario y forestal, que proponen implementar estrategias para disminuir pérdidas y desperdicios de alimentos, entre las que se destaca el aprovechamiento de los desperdicios de producción agroindustrias, lo que representa un gran reto. Entre las diferentes estrategias se han realizado demostraciones prácticas de conserva de alimentos, utilizando preservantes naturales en frutas tales como: papaya, maracuyá, plátano, mango, pitahaya, mamón, batata, piña, yuca, chiltoma y tomate.

Dadas las circunstancias coyunturales, con reducción una economía que transita por tiempos de dificultad, la oportunidad de agregarle valor a estos desechos agroindustriales, surge como una posibilidad de crecimiento económico para las empresas. Con este objetivo en mente, los **Bres. Ana Gabriela Vílchez Tapia y Ronald José Baldelomar Cerda**, hacen propia una idea de obtención de bromelina y una propuesta tecnológica del proceso de extracción, para el aprovechamiento de los residuos de piña de la empresa BurkeAgro S.A. Dado que una fracción de estos residuos, constituidos por la cáscara y el corazón de la piña tiene un contenido apreciable de Bromelina, el cual puede ser extraído utilizando alternativas técnicas que posibiliten el aprovechamiento de dichos residuos.

A pesar de la pandemia, las obligaciones contractuales y familiares, se puede apreciar el gran esfuerzo realizado, la calidad del trabajo presentado por los bres a fin de entregar una propuesta muy aterrizada y viable, que sirva de base para una expansión en la planta antes mencionada. Por tanto, a través de la presente se solicita la aplicación de su experiencia y habilidades para calificar este trabajo monográfico con la mayor nota posible para el tiempo, esfuerzo y sacrificio personal de los **Bres. Vílchez Tapia y Baldelomar Cerda**, en la elaboración de este trabajo. Sin más que agregar y agradeciendo su fina atención, me despido, deseándole mayores éxitos en sus funciones.

Atentamente

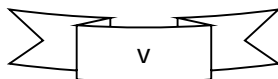


José Francisco Vílchez M.
Profesor Titular
FIQ/UNI

Dedicatoria

A Dios, mi señor y mi ayudador, a mis padres por su apoyo en cada etapa de mi vida. A mi esposo, por su apoyo incondicional. –*Ana Gabriela Vílchez Tapia*

A mis padres y hermanos, por siempre confiar y creer en mí– *Ronald José Baldelomar*



Resumen

Este trabajo consistió en presentar una propuesta tecnológica del proceso de obtención de bromelina a partir de los residuos agroindustriales de piña generados en la planta Burke Agro S.A. para el cual fue necesario estimar el potencial de rendimiento de los residuos (corazón y cascara de piña) aplicando el método de extracción de Bromelina descrito por en (Clavijo, D. et al. 2011) resultando un porcentaje final de rendimiento del 5.1%.

Se realizó ensayos para la comparar la calidad de la bromelina extraída contra una muestra patrón de Bromelina comercial con el fin de conocer la competitividad del producto en el mercado, los parámetros analizados fueron la actividad proteolítica y la concentración de proteínas, los métodos aplicados para conocer dichos parámetros fueron el método de unidad de digestión de gelatina GDU y el método de método de Kjeldahl de la norma general (AOAC 22:052) descrita en (FAO, 2006) respectivamente.

En el estudio se presenta una alternativa tecnológica elaborada a partir de los resultados de rendimiento obtenidos en la fase de laboratorio para el proceso de obtención de Bromelina, esta propuesta se realizó en las instalaciones existentes de la planta Burke Agro S.A. considerándose los requisitos técnicos y operacionales que conlleva la ejecución del proyecto.

Indice

Agradecimientos	ii
Opinión del catedrático guía	iii
Dedicatoria	v
Resumen	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Bromelina.....	3
3.1.1. Generalidades	3
3.1.1.1. Propiedades físicas de la Bromelina:	4
3.1.1.2. Propiedades químicas de la Bromelina:	4
3.1.2. Aplicaciones:.....	4
3.1.3. Mercado de la Bromelina	6
3.2. Piña (<i>Ananás comosus</i>)	6
3.2.1. Taxonomía.....	7
3.2.2. Variedades:.....	7
3.2.3. Características fisicoquímicas de la piña:.....	8
3.2.4. Cultivo de piña en Nicaragua	9
3.2.5. Procesamiento de la piña.....	10
3.2.6. Fuentes:.....	11
3.3. Extracción de Bromelina	11
3.3.1. Métodos de extracción de Bromelina	11
3.3.2. Separación de proteínas en la Bromelina.....	12
3.4. Purificación de Bromelina	12
3.5. Conservación de la Bromelina	13
3.5.1. Métodos de conservación	13
3.6. Parámetros de calidad para la Bromelina	14
3.6.1. Concentración de proteínas	14
3.6.2. Actividad proteolítica.....	15
3.7. Estudio técnico:.....	17
3.7.1. Tamaño	17
3.7.2. Localización	17
3.7.3. Proceso productivo	18

3.7.4.	Selección de equipos	19
3.7.5.	Planos de disposición y distribución de áreas	19
IV. METODOLOGÍA		21
4.1.	Ensayos de extracción de Bromelina	21
4.1.1.	Descripción del proceso productivo del análisis	21
4.2.	Determinación de parámetros de calidad	24
4.2.1.	Determinación de la actividad proteolítica	24
4.3.	Estudio técnico	26
4.3.1.	Localización:	26
4.3.2.	Descripción del proceso productivo.....	26
4.3.3.	Requerimiento de equipos	26
4.3.4.	Planos de disposición y distribución de áreas	26
4.3.5.	Requisitos organizacionales.....	28
4.3.6.	Organización de la empresa	28
4.3.7.	Requerimiento operativo	28
4.3.8.	Obras civiles	28
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		29
5.1.	Ensayos de extracción de Bromelina	29
5.1.1.	Preparación de la materia prima	29
5.2.	Proceso de extracción de Bromelina.....	29
5.3.	Determinación de parámetros de calidad	31
5.3.1.	Actividad proteolítica.....	31
5.3.2.	Concentración de proteínas	33
5.3.3.	Análisis fisicoquímicos de Bromelina seca	33
5.4.	Estudio técnico	34
5.4.1.	Localización	34
5.4.2.	Proceso productivo	36
5.4.3.	Equipos.....	42
5.4.4.	Requerimiento de materiales, mobiliarios y reactivos.....	45
5.4.5.	Requerimiento de materia prima, insumos y servicios.....	50
5.4.6.	Infraestructura y distribución de planta.....	52
5.4.7.	Obras civiles	58
5.4.8.	Requisitos organizacionales.....	59
VI. CONCLUSIONES		64
VII. RECOMENDACIONES		65

VIII. BIBLIOGRAFÍA	66
IX. APENDICES	70
9.1. Apendice A. (Glosario de términos)	70
9.2. Apendice B (metodos de determinacion de Calidad de Bromelina).....	71
9.2.1 <i>Método analítico para la unidad de digestión de la gelatina (GDU).....</i>	71
9.2.2. <i>Método de Biuret para la determinación de Concentración de proteínas</i>	76
9.3. Apendice C (de los resultados de Calidad de la Bromelina).....	79
9.3.1. <i>Resultados de la Concentración de proteínas en Bromelina obtenida</i>	79
9.3.2. <i>Resultados de la Concentración de proteínas en Bromelina comercial.....</i>	80
9.4. Apendice D (del estudio tecnico).....	81
9.4.1.. <i>Balance de materia y energía</i>	81
9.4.2. <i>Equipos de producción</i>	89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compañías dedicadas a la producción y comercialización de Bromelina.....	6
Tabla 2. Características fisicoquímicas de la piña en su madurez	8
Tabla 3: Distribución de la Bromelina y actividad proteolítica, var. Cayena Lisa	9
Tabla 4. Materiales, equipos y reactivos para el proceso de extracción de Bromelina.....	24
Tabla 5. Materiales y reactivos para la determinación de actividad proteolítica	25
Tabla 6. Resultados de análisis fisicoquímicos de materia prima	29
Tabla 7. Resultados de proceso de filtración	30
Tabla 8. Resultados de proceso de centrifugación I	30
Tabla 9. Resultados de proceso de centrifugación II	31
Tabla 10. <i>Resultados del proceso de secado</i>	31
Tabla 11. Resultados del proceso de recuperación del solvente	31
Tabla 12. <i>Volúmenes de titulación T (solución prueba) y B (Blanco)</i>	32
Tabla 13. Actividad proteolítica de Bromelina de cascara y corazón (GDU/g)	32
Tabla 14. Comparación de la Concentración de proteínas en Bromelina obtenida y comercial.....	33
Tabla 15. Análisis fisicoquímicos de Bromelina seca obtenida	33
Tabla 16. Alternativas de micro localización de la planta en Burke Agro S.A.....	34
Tabla 17. Parámetros de evaluación de las alternativas.....	35
Tabla 18. Evaluación ponderada de las alternativas.....	35
Tabla 19. Equipos mayores para el proceso de obtención de Bromelina.....	42
Tabla 20. Equipos menores para el proceso de obtención de Bromelina	44
Tabla 21. Materiales de producción.....	45
Tabla 22. Equipos de control de calidad	46
Tabla 23. Materiales de control de calidad	46
Tabla 24. Reactivos de control de calidad	47
Tabla 25. Equipos de oficina	47
Tabla 26. Materiales de oficina.....	48
Tabla 27. Materiales de limpieza	49
Tabla 28. Mobiliario de la planta.....	49
Tabla 29. Materia prima e insumos.....	50
Tabla 30. Material de empaque	50
Tabla 31. Consumo de agua (m ³ /día)	51
Tabla 32. Consumo de energía (kw/h).....	51
Tabla 33. Simbología utilizada para la matriz SLP.....	54
Tabla 34. Simbología utilizada para el diagrama de hilos	55
Tabla 35. Requerimiento de Obras civiles por área	58
Tabla 36. Requerimiento de personal.....	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.(Pulido S.A, 2007). Estudio para la fabricación de Bromelina	3
Figura 2. Piña Ananás Comosus.	7
Figura 3. Proceso productivo de obtención de Bromelina.....	23
Figura 4. Matriz diagonal (diagrama de correlaciones) (Urbina, 2010).....	27
Figura 5. Diagrama de hilos (Urbina, 2010)	27

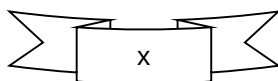


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso de Bromelina. Elaboración propia	39
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de Bromelina. Elaboración propia	40
Figura 8. Diagrama de equipos	41
Figura 9. Matriz SLP (diagrama de correlación). Elaboración propia	54
Figura 10. Diagrama de hilos. Elaboración propia.	55
Figura 11. Plano general maestro. (Escala 1:100). Elaboración propia.	56
Figura 12. Plano integración de proceso de Bromelina a planta BASA. (Escala 1:500). Elaboración propia.	57
Figura 13. Organigrama de operación. Elaboración propia.....	63

I. INTRODUCCIÓN

La Bromelina es una enzima proteolítica encontrada inicialmente en las hojas y el tallo de la planta de Ananás comosus (L) Merr., posteriormente se constató su presencia en el fruto de la misma planta y en otras especies pertenecientes a la familia Bromeliaceae, en un principio bajo la denominación de “Bromelina” se conocía la enzima extraída y purificada del tallo de la planta Ananás comosus, aunque luego, al detectarse su presencia en el fruto se denominó a la primera “stem bromelain” y a la segunda “fruit bromelain”, por ende la enzima quedaría bien definida mencionando el órgano del cual fue extraída, la especie y la variedad (López, L. et al., 1996).

De acuerdo con los datos de la Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica, América Latina es un mercado potencial de gran interés, ya que países como México, Colombia, Chile y Brasil no producen Bromelina. De hecho, en América Latina no hay ninguna empresa dedicada a la producción de la enzima (González, J. et. al., 2017).

Sin embargo, existen plantas procesadoras de frutas cuyos residuos agroindustriales no son aprovechados y contienen Bromelina, tal es el caso de BURKE AGRO DE NICARAGUA, S.A., ubicada en San Marcos, Carazo. Esta empresa se formó como sociedad anónima en el año 2006 con la misión de utilizar energía renovable para agregar valor a productos naturales no tradicionales (particularmente frutas tropicales) de pequeños productores en Nicaragua e insertarlos en mercados de exportación. Desde su inicio, la empresa ha transformado fruta fresca (mango, banano, *piña*, pitahaya) en fruta deshidratada y pulpas de fruta, pero aún no cuenta con un manejo integrado de los desechos generados de esta operación. Una fracción de estos residuos, constituidos por la cáscara y el corazón de la piña tiene un contenido apreciable de Bromelina, el cual puede ser extraído utilizando alternativas técnicas que posibiliten el aprovechamiento de dichos residuos.

El propósito de esta investigación es la obtención de bromelina y realizar una propuesta tecnológica del proceso de extracción, para el aprovechamiento de los residuos de piña de la planta BURKE AGRO S.A.

II. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- ❖ Proponer a nivel tecnológico, el proceso de obtención de Bromelina a partir de residuos agroindustriales de piña en la planta BURKE AGRO, S.A.

4.2. Objetivos específicos

1. Estimar el potencial de rendimiento de los residuos de piña para la extracción de Bromelina mediante ensayos a escala laboratorio.
2. Comparar la calidad de la Bromelina obtenida con una muestra de Bromelina comercial analizando la cantidad de proteínas y la actividad enzimática.
3. Realizar el estudio técnico del proceso de obtención de Bromelina, utilizando los datos experimentales obtenidos en los ensayos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Bromelina

Bromelina es una glicoproteína del grupo de las cisteín proteasas, se obtiene del jugo de la fruta o de los tallos de la piña (*Ananás comosus*) , su pH óptimo varía con el sustrato, en el rango de 5 a 8 y tiene baja tolerancia térmica. La enzima se utiliza en la obtención de hidrolizados de proteínas, en la alimentación animal y humana, el ablandamiento de carnes y la fabricación de cervezas. Como ablandador de carne (actuando sobre los tendones y el tejido conectivo rico en elastina) y para hidrolizar proteínas solubles de la cerveza que pudieran precipitar y causar opacidad por el enfriamiento; sus aplicaciones con fines alimenticios y terapéuticos son muy variadas. (Carrera, J. 2003),

3.1.1. Generalidades

Según estudios realizados por Montilla I. (citado en Magallanes J. y Salcedo N., 2013), la Bromelina es una glicoproteína de cadena simple que tiene un peso molecular de 24.5 kDa. Contiene 212 aminoácidos reductores, incluyendo 7 cisteínas. La enzima proteolítica encontrada en el extracto del tallo de la planta es llamada “Bromelina de tallo” y la encontrada en el jugo del fruto de piña se denomina “Bromelina del fruto”.

La Bromelina pura de tallo es estable cuando se la almacena a 20°C. Tiene un pH óptimo entre 6-8,5 y la temperatura óptima es de 50 a 60°C.

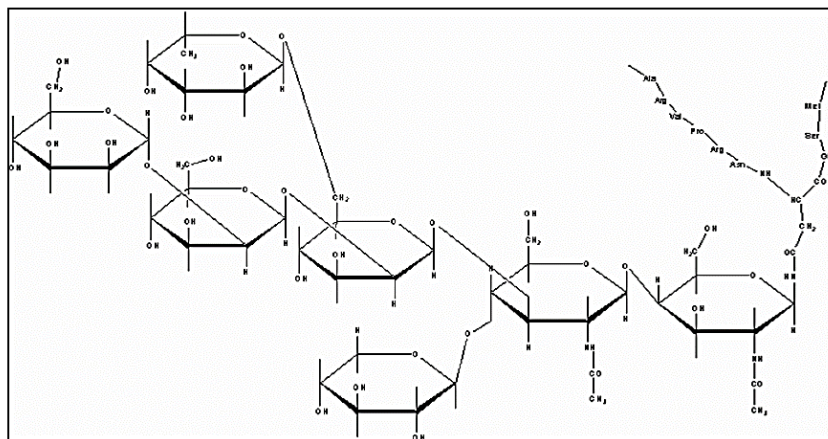


Figura 1. (Pulido S.A, 2007). Estudio para la fabricación de Bromelina

3.1.1.1. Propiedades físicas de la Bromelina:

De acuerdo a Pulido, A. 2007, la Bromelina tiene las siguientes propiedades físicas:

- Color: Blanco
- Estado: Polvo
- Actividad enzimática: 1200 DGU/g
- Temperatura de inactivación: 70 °C
- Temperatura de almacenamiento: 25 °C
- pH optimo: 7
- Solubilidad: Agua
- Olor y sabor: Característico

3.1.1.2. Propiedades químicas de la Bromelina:

- El residuo amínico principal, es la Valina, y el carboxilo terminal es glicina.
- Tiene un oligosacárido por molécula, el cual está unido por covalencia a la cadena péptica.
- Los principales aminoácidos contenidos en la Bromelina son: Arginina, ácido aspártico, Serina, Prolina, Alanina, Valina, glicina, metionina, amonio y Glucosamida. (Pulido, A. 2007)

3.1.2. Aplicaciones:

Cárnica: El ablandamiento de la carne es una característica importante que atrae a los clientes ya la consideran como un sinónimo de calidad por lo que se han realizado estudios para el uso de proteasas como ablandadores. La adición de la Bromelina en la superficie hidroliza eficientemente algunas proteínas de miofibrillas de la carne tales como Actomiosina, Titina, Nebulina y Miosina. (Munturi et. al, 2012)

Panificación: El gluten es un componente funcional de los productos alimenticios de trigo, compuesto de dos proteínas, Gliadina y Glutenina. El gluten se vuelve insoluble y forma una red estructural cuando esta hidratado por lo que debe ser degradado para evitar la resistencia al estiramiento de la masa. Clavijo et al., (citado en Vega K., 2017) destaca que el uso de la Bromelina reduce la resistencia de la masa, mejora la solubilidad y previene el encogimiento de masa elevándola uniformemente durante el proceso de horneado.

Cosmética y farmacéutica: López et al, (citado en Vega K., 2017) aporta que, en la industria cosmética, las proteasas son usadas para la elaboración de productos que alivien problemas como la picazón, acné y piel seca ya que digieren las proteínas de las células muertas presentes, dando una mejor apariencia a la piel. En la industria farmacéutica se emplea como agente digestivo en el tratamiento de dispepsias, además tiene propiedades antiinflamatorias y presenta aplicaciones en el tratamiento de cáncer.

Galarza (Citado en Clavijo D. et al., 2011) aporta que en la industria de los alimentos se encuentra la aplicación más popular de la Bromelina. La capacidad de la Bromelina para degradar el material fibroso de los cárnicos es bien conocida. Tanto la cáscara, como la pulpa y el corazón de la piña ejercen un efecto ablandador sobre las carnes, esto es dado por supuesto por la presencia de Bromelina en todo el fruto de piña.

3.1.3. Mercado de la Bromelina

La Bromelina, al ser una enzima muy utilizada en las industrias médica, farmacéutica y alimenticia, es altamente demandada. Esta demanda ha provocado una interesante respuesta, puesto que algunas compañías se están dedicando a la producción y comercialización exclusiva de la Bromelina, o en otros casos a la producción de enzimas de origen vegetal. (González, J. et al. 2017)

Una investigación de mercado revela que existen dos empresas que cuentan con una planta industrial de extracción de la enzima (Hong Mao Biochemicals y Enzybel International).

Se identificaron otras compañías que compran la Bromelina cruda y actúan como intermediarias, por cuanto venden el producto más procesado a industrias farmacéuticas y alimenticias. La Tabla 1, muestra la información en detalle:

Tabla 1. *Compañías dedicadas a la producción y comercialización de Bromelina*

Empresa	País	Producto	Características generales
Hong Mao Biochemicals	Tailandia	Bromelina	Solo produce y comercializa Bromelina
Enzybel Internacional	Bélgica	Bromelina, Papaína, actidina, ficina y otras enzimas	Su planta de extracción de bromelina se encuentra en Indonesia
Biozym	Alemania	Bromelina y otras enzimas	No tiene planta de extracción y comercializa bromelina
BIO-CAT Inc	Virginia y Minnesota (EE.UU.)	Mezcla de enzimas (bromelina y papaína)	No tiene planta de extracción
Sigma-Aldrich	EE.UU.	Bromelina y otras enzimas	Distribuidor de reactivos y enzimas y comercializan la enzima cruda y purificada

Fuente: González J., Vázquez J. y Mejía C. (2017), Responsabilidad social, empresarial- decisiones, reflexiones y casos de estudio. pp. 115-152.

3.2. Piña (*Ananás comosus*)

La piña conocida científicamente como *Ananás comosus*, pertenece a la familia Bromeliaceae, al género Ananás. Las Bromeliáceas son originarias de América Latina, exactamente de América del Sur (Hulme, A. 1971).

3.2.1. Taxonomía

- Familia: Bromeliácea
- Nombre científico: *Ananás comosus* (variedad que forma semillas capaces de germinar).
- Origen: Zonas tropicales de América del Sur. Planta originaria de Centro y Suramérica. Se clasifica en el orden de las Iridiales, en la familia de las Bromeliáceas, dentro del género de las Ananás y de especie Comosus. Es una planta monocotiledónea, herbácea, perenne, alógama autoincompatible de reproducción principalmente asexual, a través de hijos. La piña (*Ananás comosus* L.), es uno de los cultivos del país, de mayor versatilidad, en cuanto se refiere a su adaptación, a los diferentes sistemas de cultivo, tanto del pequeño y mediano productor como en las siembras intensivas en grandes extensiones, dado su buen precio tanto en los mercados internos como externos y la demanda insatisfecha como fruta tropical exótica (Villegas O. et al., 2007).



Figura 2. Piña Ananás Comosus.

3.2.2. Variedades:

Villegas, O., et al. (2007) caracterizan las variedades siguientes:

- Cayena Lisa (hawaiana): Del grupo de las Cayenne, es la principal variedad destinada a la industrialización, es la variedad más importante del mundo. Tiene un peso promedio de 2.5 Kg., en un rango entre los 2 a 4 Kg. con una escasa producción de hijuelos, de corazón pequeño.
- Champaka F-153: Es un clon puro de la variedad Cayena Lisa, es más resistente a enfermedades que las otras variedades, es una variedad con gran aceptación y alta demanda en los mercados de exportación.
- Española Roja: Fruta de forma cónica y ovalada, de tamaño mediano, con hojas largas estrechas y espinosas, existe una variante con pocas espinas, con un borde central rojizo. Pulpa de color amarilla pálida, poco sensible a las enfermedades. peso promedio de la fruta es entre 1 a 2.5 kilogramos.
- Monte lirio: En Centroamérica representa la piña criolla es poco sensible a enfermedades, hojas sin espinas en los bordes, frutos entre los 2.5 a 3

kilogramos, de pulpa blanca. Principalmente para consumo de fruta fresca, y jugo, no se recomienda para el enlatado por tener los ojos profundos y el corazón grande. Ideal para el mercado nacional.

3.2.3. Características fisicoquímicas de la piña:

Las características fisicoquímicas de la piña madura, se detallan en la Tabla 2:

Tabla 2. Características fisicoquímicas de la piña en su madurez

Parámetros fisicoquímicos	Valor
Grados Brix	10,80-17,50
Acidez titulable (% Ácido cítrico)	0,6-1,62
% Cenizas	0,30-0,42
% Agua	81,20-86,20
% Fibra	0,30-0,61
% Nitrógeno	0,045-0,115
Esteres (ppm)	1,0- 250
Pigmentos (ppm de carotenos)	0,2-2,5
% en peso de glucosa	1,0-3,20
% en peso de fructosa	0,6-2,3
% en peso de sacarosa	5,9-12
% de almidón	<0,002
% de celulosa	0,43-0,54
% de hexosas	0,10-0,15
% de pentosas	0,33-0,43

Fuente: Salcedo, N. & Magallanes, J. (2013). Extracción, Caracterización y Secado por Aspersión de Bromelina Cruda Obtenida a Partir de Residuos de Piña “Perolera” (Ananá Comosus). pp. 7.

La piña posee una alta concentración de sólidos solubles (10-17°Brix) y un contenido de agua entre el 81% y el 86%. Su aroma característico se debe a la presencia de esterres en el fruto, Además la piña contiene enzimas, entre ellas se pueden mencionar a la Bromelina, fosfatasa ácida, ananaina, carboxipeptidasa, celulasa, peroxidasa y fosfatasa (Polaina, J. et al. 2007).

El contenido de Bromelina es variable para cada una de las partes que componen el fruto, por ende, es preciso conocer las proporciones en las cuales se encuentra distribuida.

La siguiente tabla muestra la distribución de Bromelina en la piña, así como la actividad proteolítica, para la variedad Cayena Lisa:

Tabla 3: Distribución de la Bromelina y actividad proteolítica, var. Cayena Lisa

Parte de planta	Bromelina	Actividad
<i>Tallo</i>		
Parte baja	0.25	138
Parte alta	0.16	1309
Tallo verde	0.14	51.44
<i>Hojas</i>	0.11	84.33
<i>Fruto Verde</i>		
Corona	0.14	235.6
Piel	0.17	346.4
Pulpa	0.08	449.8
<i>Fruto Maduro</i>		
Corona	0.04	137.3
Piel	0.18	278.3
Pulpa	0.13	336.9

Fuente: López, A., Díaz, V., Cáceres, M. (1996). La Bromelina una proteasa de interés comercial. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología. ISSN 1696-2443. Vol 1. pp. 17-22.

3.2.4. Cultivo de piña en Nicaragua

La piña (Ananás Comosus) se cultiva en Nicaragua desde tiempos precolombinos. Se consume fresca; en conservas, jaleas, vinos, licores, vinagres, alcohol, jugos y helados. Hay muchas variedades, siendo las más conocidas Cayena Lisa, Española, Queen, Cabezona y Monte Lirio.

La variedad más sembrada en Nicaragua es Monte Lirio, sobre todo para consumo interno donde se consume como fruta fresca y en mermeladas, pero no gusta en el mercado internacional (Rose, S. 2006)., Sin embargo, actualmente esta variedad está siendo utilizada como materia prima para la obtención de productos con calidad de exportación en Burke Agro S.A.

De acuerdo con las autoridades de la alcaldía de la Concepción, Masaya, se estima que existen alrededor de 560 ha. cultivadas en piña, ubicadas en su mayor parte en la zona de San Ignacio, a las que se suman las áreas bajo cultivo de la Cooperativa Agroindustrial de Productores de San Ignacio COAPROSI, que cultivan un área de 4.23 hectáreas de piña en la variedad Monte lirio, siendo esta la más cultivada , especialmente por ser resistente a las lluvias ácidas que ocasionan los gases tóxicos emanados por el volcán Santiago, además de mostrar ciertas resistencias a las plagas tales como la: cochinilla harinosa (*Dysmicoccus brevipes*), pudrición rosada de raíces (*Fusarium moliniforme sheldon*) y a los Nematodos (*Helicotyslechus sp*), podredumbre blanda del fruto o producción negra, peca o mancha del fruto (Molina J. y Bello A., 2011).

3.2.5. Procesamiento de la piña

El procesamiento de la piña que se realiza en BURKE AGRO.S.A, se basa en la producción de jugo, puré y fruta deshidratada. El proceso de elaboración de Jugos y purés se basa en las siguientes etapas: Selección de la materia prima, Lavado, Pelado, Corte, Despulpado, Pasteurizado, Envasado, Empaque y Embalaje. De las operaciones unitarias de Pelado y Corte se obtiene la cascara y corazón de la piña, los cuales son desechos que no tienen ningún tipo de aprovechamiento integral. A continuación, se describirá brevemente el procesamiento de la piña, realizada para la producción de Puré de Piña en la empresa BURKE AGRO. S.A.

Selección: Una vez que la piña alcanza o cumple con los parámetros de calidad aptos para su procesamiento, Brix (11-12°), pH (0.30-0.59), se reciben en la planta de procesamiento. Se realiza la selección de la materia prima en sus diferentes tipos de calidades manualmente tomando en cuenta aspectos como estado de maduración clasificada maduro, $\frac{3}{4}$ maduro y verde. La materia prima que cumple con el estado de maduración adecuado ($\frac{3}{4}$ maduro y maduro) pasa a la siguiente etapa.

Lavado: El proceso es manual, la piña es lavada y desinfectada en tres etapas en un recipiente de tres compartimentos, a través de lavado y cepillado con agua, enjuague y luego desinfección por sumersión de la materia prima en agua con solución de ácido paracético a 800 ppm.

Pelado: El pelado de la piña se hace con ayuda de una guillotina donde se cortan los extremos de la piña y luego con un descorazonador se elimina tanto la cascara como el corazón. Sin embargo, este proceso de pelado no logra retirar en totalidad la cascara por lo que se debe terminar de pelar manualmente. Los desechos generados en esta etapa son dirigidos hacia los depósitos de basura.

Corte: La piña ya pelada se corta en trozos de aproximadamente unos 12x5x4 cm de dimensión y se depositan en cubetas para ser dirigidas a la siguiente etapa.

Despulpado: Se realiza el despulpado en un despulpador, la alimentación al despulpador se realiza manual y luego se realiza el despulpado de la piña, obteniendo el puré de piña mas parte de la fibra que es desechada por uno de los extremos del despulpador. De igual forma la fibra que se obtiene como desecho se dirige hacia los recipientes de basura.

Pasteurización: Esta etapa es el más importante puesto que involucra la muerte de microorganismos patógenos que puedan dañar el producto final. En este proceso el puré de piña es sometido a un tratamiento térmico de 65-78°C por 75 segundos y enfriado rápidamente el producto final a entre 8-12 °C.

Envasado: El producto final se envasa en bolsas de 100 g genéricas y rápidamente es colocado en bandejas. Se acomoda por bandeja 108 bolsas de 100g y luego son enviadas al cuarto frio.

Congelación: Las bandejas con Puré de Piña en bolsas de 100 g son congeladas en el cuarto frio por unas 8 horas aproximadamente a una temperatura de -20 a -30°C.

Empaque: El Puré de Piña una vez congelado, habiendo alcanzado una temperatura promedio entre -15 a -18 °C, es empacado en cajas genéricas 60x100, se acomodan 60 bolsas de Puré de Pitahaya congelado por caja.

Almacenamiento: El producto empacado en cajas se dirige nuevamente al cuarto frio a una temperatura de -20 a -30°C y es almacenado hasta su embalaje.

Embalaje: El embalaje se realiza en polines donde se acomodan alrededor de 55 cajas por polín y luego se almacena el producto para su comercialización en container que mantienen la temperatura interna entre -15 a -20 °C

3.2.6. Fuentes:

La producción de Bromelina a escala industrial se centra en la obtención de la enzima a partir del tallo de la planta de piña por ser un subproducto de su explotación, aunque el procedimiento puede aplicarse a cualquier parte del fruto y planta, como el tallo, las hojas, la cascara, expresa Guido M. (Salcedo, N. & Magallanes, J. 2013).

3.3. Extracción de Bromelina

La extracción de proteínas celulares comienza siempre con una ruptura celular o lisis. Los métodos más utilizados se basan esencialmente en la homogenización de los tejidos y la destrucción de los límites celulares por medio de diferentes procedimientos físicos y/o químicos, obteniéndose lo que se denomina extracto crudo.

Las proteínas presentes en los residuos de procesamiento de frutas y vegetales son de tipo intracelular, por lo que es necesario la aplicación de técnicas para la ruptura de las paredes celulares y así recuperar la mayor cantidad de los compuestos de interés (Balasundaram, et al. 2009).

3.3.1. Métodos de extracción de Bromelina

Existen diferentes métodos que pueden ser utilizados para la extracción de proteínas tales como:

- Métodos mecánicos
- Métodos no mecánicos
- Métodos químicos
- Métodos enzimáticos

Dichos métodos pueden complementarse para proporcionar una mejor extracción. (Crosgrave, D. 2000), extrajo proteínas haciendo uso de métodos químicos. El resultado

mostró que el uso de solventes no produce daños en toda la estructura de la membrana, por lo que se debe complementar con el uso de métodos mecánicos.

Los métodos mecánicos en conjunto con los métodos químicos son los más utilizados para el extraer Bromelina del fruto y/o residuos de piña (Hernández, M. et al. 1997), en la patente “Extracción de Bromelina a partir de tallos”, hace uso de ambos métodos, incorporando etapas de trituración, seguido de extracción por medio de un buffer de extracción y de sustancias protectoras de los grupos SH de la Bromelina.

Clavijo, D. (2011), por su parte, realizó el proceso de extracción de Bromelina de igual forma aplicando ambos métodos, con la diferencia de hacer uso de solventes orgánicos como alcohol y acetona en diferentes proporciones. Por medio de este estudio se comprueba que la acetona como solvente es el que proporciona mejores rendimientos de extracción. Además, que la aplicación de solventes orgánicos como la acetona puede ser una mejor alternativa frente a aquellos en los que se hace uso de solventes inorgánicos los cuales no se pueden recuperar y generan residuos contaminantes al ambiente.

3.3.2. Separación de proteínas en la Bromelina

Posterior al proceso de extracción de proteínas, suelen aplicarse procesos de separación y purificación de los componentes celulares. En general, el extracto obtenido es sometido a tratamientos que separan las proteínas en diferentes fracciones basados principalmente de las diferencias de densidades de las proteínas. La centrifugación es el proceso más común utilizado para realizar dicha separación, por lo que, en este caso, las proteínas asociadas a membrana quedarán en el pellet (precipitado que queda en el fondo del tubo luego de una centrifugación) y las solubles en el sobrenadante.

En la extracción de Bromelina dicho proceso ha sido de gran utilidad para lograr una mejor separación del extracto crudo de Bromelina. Salcedo, N. & Magallanes, J. (2013), así como Vega, K. (2017), al utilizar centrifugación como método de separación luego de la etapa de extracción, lograron separar por medio de diferencia de densidad la Bromelina contenida en el extracto crudo.

3.4. Purificación de Bromelina

El continuo interés de las proteínas en varias aplicaciones ha hecho que se desarrollen nuevas metodologías acerca de la obtención y purificación de estos componentes, tanto en las frutas como en los residuos del procesamiento. La selección del método es importante y está dada en la función del tipo de proteína que se desea obtener y su aplicación (De Lencastre et al. 2015).

Los parámetros más importantes para elegir el método son maximizar la eficiencia de extracción, minimizar la oxidación, evitar la desnaturalización e incrementar el porcentaje de proteína recuperada (Devakate et al. 2009). Los métodos comúnmente usados son:

- Microfiltración y ultrafiltración
- Precipitación de proteínas
- Sistema acuoso de dos fases
- Cromatografía
- Método de micelas inversas

De los métodos antes mencionados, la purificación con cromatografía específicamente por intercambio iónico es la que permite obtener mayor calidad de proteína, pero los altos costos hacen que a escala industrial este proceso de purificación sea poco rentable.

El sistema acuoso de dos fases es otra alternativa que puede aplicarse para obtener un extracto de Bromelina semipurificado. (Sánchez, N., Quinde, C. 2013), realizaron la semipurificación de la Bromelina extraída por medio de un sistema de dos fases, en el que a 18%, polietilenglicol 16% sal y pH 9, se obtiene un rendimiento de 0.018 g de extracto seco/ g de extracto purificado.

El método de precipitación de proteínas, a pesar de ser un método por el cual se obtiene Bromelina de menor calidad, puede reducir los costos de extracción al ser este un método de extracción y purificación a la misma vez. Además de ser un método amigable con el medio ambiente a diferencia de los demás ya que el uso de solventes orgánicos permite su recuperación luego del proceso de extracción (Alonso et al. 2008), (Clavijo et al. 2011) y (Vega2017), obtienen Bromelina semipurificada haciendo uso de solventes orgánicos como etanol y acetona, siendo la acetona el solvente orgánico que permite obtener Bromelina de mejor calidad.

3.5. Conservación de la Bromelina

3.5.1. Métodos de conservación

Como la mayoría de las enzimas no son estables en solución, el secado y la micro encapsulación, se utilizan a menudo para mejorar la estabilidad durante el almacenamiento.

3.5.1.1. Secado

El secado de las enzimas se puede realizar de acuerdo con los siguientes métodos: secado por atomización, secado al vacío, secado con bomba de calor y liofilización. La elección del método de secado depende de los parámetros de calidad de la enzima, la salida de la producción, las aplicaciones finales y el costo del secado. El diseño de un proceso de secado adecuado debe garantizar un alto nivel de retención de la actividad enzimática (Vithalrao, 2007).

(Sánchez, N., Quinde, C. 2013), al extraer Bromelina del corazón de la piña aplicando secado por aspersión o atomización obtuvo como rendimiento total del proceso, que para obtener 1 kg de Bromelina se necesita 19.24 kg de corazón de piña. Mientras (Vega, K. 2017), al evaluar el realizar una evaluación del secado por atomización y liofilización, concluye las condiciones de secado por atomización optimas son a 130 °C. Aunque el

secado por liofilización es el que permite conservar mejor la actividad enzimática de la Bromelina, este último presenta desventajas tales como un alto consumo energético, mayor tiempo de procesamiento (alrededor de 20 horas) y un costo de 30 a 50 veces mayor (García, A. & López, A. 2012).

3.5.1.2. Microencapsulación

Consiste en recubrir partículas sólidas diminutas con una capa delgada de material protector. El método más usado en la industria alimentaria para micro encapsular es el secado por aspersión, en donde se seca por atomización la suspensión del material que se quiere cubrir en la solución del material de recubrimiento. (Muller, P. 1990)

(Sánchez, N., Quinde, C. 2013), al extraer Bromelina del corazón de la piña, se llevó a cabo secado por aspersión y microencapsulación con Goma Arábica, obteniendo como rendimiento total del proceso, que para obtener 1 kg de Bromelina se necesita 19.24 de corazón de piña. Mientras, (Vega, K. 2017), de igual forma al haber evaluado dos métodos de secado evaluó la proporción de los agentes encapsulantes que permiten conservar las propiedades de la Bromelina. Finalmente determina que la proporción óptima de agente encapsulante es maltodextrina (MD): goma arábica (GA) 70:30 w/w.

3.6. Parámetros de calidad para la Bromelina

3.6.1. Concentración de proteínas

La cantidad de proteínas en una muestra puede estimarse por diversos métodos. Existen métodos prácticos como el método de Kjeldahl utilizado para determinar la concentración de proteínas en alimentos por medio de la valoración con un ácido fuerte que permite conocer la cantidad de nitrógeno contenida en una muestra. El contenido en proteína se puede calcular seguidamente, presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno para el alimento específico que está siendo analizando (García, E., Fernández, I. 2008).

Por otro lado, existen métodos colorímetros que por medio de absorbancia se puede conocer la concentración de proteínas. La mayoría de las proteínas absorben a 280 nm, y a bajas concentraciones, lo hacen de manera proporcional con su concentración. Este es un método rápido y sencillo, pero tiene la desventaja es que la muestra debe estar pura, ya que otras moléculas no-proteicas como el DNA, también absorben a esa longitud de onda (Pinto, C. et al. 2007).

3.6.1.1. Métodos para la cuantificación de proteínas

Existen varios métodos para determinar la cantidad de proteínas presentes en una muestra. Los métodos más usuales son:

- Método de Kjeldahl
- Método de Biuret (540 nm)

- Método de Lowry (750 nm)
- Método de Bradford (595 nm)
- Método de BCA (562 nm)

- Método de Kjeldahl

El método Kjeldahl mide el contenido en nitrógeno de una muestra. El contenido en proteína se puede calcular seguidamente, presuponiendo una proporción entre la proteína y el nitrógeno para el alimento específico que está siendo analizado. Este método consiste en determinación de proteínas de un alimento a partir de la cuantificación del nitrógeno, empleando ácido bórico como medio para atraparlo y ácido clorhídrico o sulfúrico para su valoración y se divide en 3 etapas: digestión o mineralización, destilación y valoración. (FAO, 2006).

Desde hace más de 100 años se está utilizando el método Kjeldahl para la determinación del nitrógeno en una amplia gama de muestras (alimentos y bebidas, piensos, forrajes, fertilizantes) para el cálculo del contenido en proteína. Es un método oficial descrito en múltiples normativas: AOAC, USEPA, ISO, Farmacopeas y distintas Directivas Comunitarias. (García, E., Fernández, I. 2008).

- Método de Biuret

La reacción del Biuret es un método colorimétrico, su nombre se debe a la reacción de un compuesto coloreado formado por la condensación de dos moléculas de urea con la eliminación de amoníaco. La solución de proteína al reaccionar con el reactivo de Biuret forma un complejo entre el ion cúprico y los enlaces peptídicos con la aparición de una coloración violeta-purpura. (Pinto, C. et al. 2007)

El desarrollo del color es diferente para cada proteína y su intensidad se puede determinar espectroscópicamente a 540 nm. La intensidad de coloración es directamente proporcional a la cantidad de proteínas (enlaces peptídicos) y la reacción es bastante específica, de manera que pocas sustancias interfieren. La cuantificación de la proteína se lleva cabo con una curva patrón, utilizando el principio establecido por la ley de Beer (Bolaños et al, 2003).

3.6.2. Actividad proteolítica

El primer requerimiento para aislar una enzima es encontrar un ensayo cuantitativo de actividad, mediante el cual pueda valorarse convenientemente. Para decidir si un paso de la purificación tiene sentido, es necesario medir la cantidad de enzima y la cantidad de impurezas antes y después de ese paso, y comparar los resultados de varios procedimientos posibles (Calvo, 2003).

3.6.2.1. Unidades enzimáticas

La acción de las enzimas se mide determinando la cantidad de sustrato consumido, de producto formado o el número de las acciones elementales realizadas por unidad de tiempo, en condiciones estandarizadas. Así se define como unidad internacional de actividad enzimática U, a la cantidad de enzima necesario para transformar un micromol de sustrato por minuto, a 25 °C y en condiciones definidas. (Macaruya, J. 2002) Por lo tanto existen distintas unidades por las cuales la actividad de una enzima puede ser cuantificada, en dependencia del sustrato que sea utilizado durante la medición tales como:

- GDU: Cantidad de enzima que libera 1 mg de nitrógeno amino de una solución estándar de gelatina a pH 4,5 después de 20 minutos de digestión. (Enzymes Development Corporation, s.f)
- CDU: cantidad de enzima que libera 1 µg de tirosina después de 1 minuto de digestión a 37°C en un sustrato estándar de caseína a un pH de 7,0. (Enzymes Development Corporation, s.f)
- MCU: Cantidad de enzima necesaria para coagular 25 ml de leche a 48°C, en un rango de 30-60 min.
- BTU: Una unidad de tirosina de la Bromelina es la cantidad de enzima que liberará un micromol de tirosina por minuto bajo las condiciones del ensayo (por ejemplo, después de la digestión de un sustrato de hemoglobina desnaturalizada con ácido a pH 5 y 30°C).

3.6.2.2. Métodos para la determinación de actividad proteolítica

La actividad proteolítica o enzimática, es otro parámetro importante para determinar la calidad de las enzimas, ya que esta expresa las unidades de enzima por ml de solución. (U/ml). Para la determinación de la actividad proteolítica de las enzimas existen varios métodos, entre los métodos empleados para la medición de la actividad enzimática en la Bromelina, se encuentran:

- Método Analítico para la Unidad de Digestión de la Gelatina (GDU)
- Método Analítico para la Unidad de Digestión de la Caseína (CDU)
- Método Analítico para la Unidad de Coagulación de la leche (MCU)
- Método de Anson
- Método de Balls y Hoover

- Método Analítico para la Unidad de Digestión de la Gelatina (GDU)

Este método se define, como la cantidad de enzima que libera 1mg de nitrógeno amino de una solución estándar de gelatina a pH 4.5 o 5.5 después de 20 minutos de digestión a 45°C (14). El método se fundamenta en la capacidad que tiene la Bromelina en hidrolizar la gelatina a temperaturas y pH establecidos.

Dicho método ha sido utilizado tanto por (Salcedo, N. & Magallanes, J. 2013), quienes obtuvieron extractos de Bromelina cruda de tallo con actividad proteolítica promedio de 893 GDU/g y 648 GDU/g para el extracto de Bromelina cruda de cáscara.

3.7. Estudio técnico:

La selección del proceso es una decisión estratégica que involucra seleccionar qué tipos de procesos de producción debemos considerar. Una decisión esencial en el diseño de un sistema de producción es el proceso que se usará para hacer productos o brindar servicios. Esto involucra decisiones en campos tales como recursos humanos, equipos, materiales y tecnología, entre otros. (Carro Paz & González Gómez)

El estudio técnico puede subdividirse a su vez en cuatro partes, que son: determinación del tamaño óptimo de la planta, determinación de la localización óptima de la planta, ingeniería del proyecto y análisis organizativo, administrativo y legal.

3.7.1. Tamaño

El tamaño de un proyecto se mide por su capacidad de producción de bienes o de prestación de servicios. La importancia de definir el tamaño que tendrá la nueva planta se manifiesta principalmente en su incidencia sobre el nivel de las inversiones y costos que se calculan y, por tanto, sobre la estimación de la rentabilidad que podría generar su implementación. (ILPES, 1974).

El tamaño se subdivide en tres tipos de capacidades: Capacidad de diseño, capacidad de real y capacidad del sistema.

3.7.2. Localización

La localización debe contemplar en principio algunas alternativas que permitan establecer un juicio comparativo, mediante el cual la solución que se dé a este problema pueda contribuir a minimizar los costos del proyecto. El estudio de localización se refiere tanto a la macrolocalización como a la micro localización de la nueva unidad de producción, llegando hasta la definición precisa de su ubicación en una ciudad o en una zona rural (ILPES, 1974).

Las alternativas de instalación de la planta deben compararse en función de las fuerzas ocasionales típicas de los proyectos. Los aspectos a tomar en cuenta son: medios y costos de transporte, disponibilidad y costo de mano de obra, cercanía de las fuentes de

abastecimiento, factores ambientales, cercanía del mercado, costo y disponibilidad de terrenos, topografía de suelos, estructura impositiva y legal, disponibilidad de agua, energía y otros suministros, comunicaciones y posibilidad de desprenderse de desechos.

3.7.3. Proceso productivo

Todo proceso productivo conlleva una tecnología que viene a ser la descripción detallada, paso a paso, de operaciones individuales, que, de llevarse a cabo, permiten la elaboración de un artículo con especificaciones precisas. De lo anterior se puede deducir que la siguiente etapa, indispensable para determinar y optimizar la capacidad de una planta, es conocer al detalle la tecnología que se empleará. Después de esto se entra a un proceso iterativo donde intervienen, al menos, los siguientes factores (Urbina, 2010):

- El tipo de mano de obra que se desee implementar: procesos automatizados, semiautomatizados o con abundantes operaciones manuales.
- La cantidad que se desea producir.
- La cantidad de turnos de trabajo y horarios.
- La optimización física de la distribución del equipo de producción dentro de la planta.
- La capacidad individual de cada máquina que interviene en el proceso productivo y del llamado equipo clave, es decir, aquel que requiere de la mayor inversión y que, por tanto, se debe aprovechar al 100% de su capacidad.

Existen diferentes tipos de producción industriales, los cuales según (Peña, 2008), son los siguientes: Proceso continuo (aquel donde la operación no se detiene), y operaciones discontinuas también conocidos como batch o lotes son en los que existen paros en el proceso.

Para representar y analizar el proceso productivo existen varios métodos, algunos de los cuales se describen en el texto. Cualquier proceso productivo por, complicado que sea, puede ser representado por medio de un diagrama para su análisis (Urbina, 2010).

Diagrama de bloques: Es el método más sencillo para representar un proceso. Consiste en que cada operación unitaria ejercida sobre la materia prima se encierra en un rectángulo; cada rectángulo o bloque se une con el anterior y el posterior por medio de flechas que indican tanto la secuencia de las operaciones como la dirección del flujo.

Diagrama de flujo del proceso: Aunque el diagrama de bloques también es un diagrama de flujo, no posee tantos detalles e información como el diagrama de flujo del proceso, donde se usa una simbología internacionalmente aceptada para representar las operaciones efectuadas y se reflejan las cantidades de acuerdo al balance de masa y energía que entran a cada etapa del proceso.

3.7.4. Selección de equipos

Según (Urbina, 2010), cuando llega el momento de decidir sobre la compra de equipo y maquinaria, se deben tomar en cuenta una serie de factores que afectan directamente la elección. La mayoría de la información que es necesario recabar será útil en la comparación de varios equipos y también es la base para realizar una serie de cálculos y determinaciones posteriores.

A continuación, se menciona toda la información que se debe recabar y la utilidad que tendrá en etapas posteriores: proveedor, precio, dimensiones, capacidad, flexibilidad, mano de obra necesaria, costo de mantenimiento, consumo de energía eléctrica, infraestructura necesaria, equipos auxiliares, costo de los fletes y de seguros, costo de instalación y puesta en marcha, existencia de refacciones en el país.

3.7.5. Planos de disposición y distribución de áreas

Plano general de planta productora: Las plantas productoras se construyen acorde a tres planos esenciales; plano general maestro, plano general unitario y diagrama de equipo, los cuales ayudan a determinar el área total que ocupa la planta y las distribuciones internas de las áreas que la conforman.

El plano general maestro: muestra la distribución de todas las áreas que constituye una empresa o planta productora de un bien o servicio con sus respectivas acotaciones, de modo que refleje el área total de dicha planta.

Diagrama de equipos: Refleja el orden de cómo van instalados los equipos acordes a las operaciones unitarias y etapas de producción que se realizan de dicho bien o servicio.

Plano general unitario: Muestra la distribución que conforma un área en específico, con respecto al área de producción refleja todos los equipos maquinarias y accesorio ubicado dentro de dicha área.

Una buena distribución de la planta es la que proporciona condiciones de trabajo aceptables y permite la operación más económica, a la vez que mantiene las condiciones óptimas de seguridad y bienestar para los trabajadores.

La distribución de áreas se puede realizar conforme el método SLP (Sistematic Layout Planning) o (planeación sistemática de la distribución en planta), realiza un patrón de flujo para el total de áreas que deben ser atendidas en la actividad a desarrollar.

3.7.6. Recursos humanos

Para la adecuada ejecución de un proyecto es necesario establecer una organización basada en cargos y funciones, que asegure el óptimo desempeño de las actividades tanto administrativas como funcionales. Ciertas actividades en un proceso determinado se pueden realizar de forma externa mediante la prestación de servicios profesionales o empresas subcontratadas lo cual incide en la cantidad de personal que se va a requerir.

La base para decidir si determinada actividad debe ser interna o externa, es analizar si el personal que ocupe determinado puesto tiene suficientes actividades como para mantenerlo ocupado todo el día, durante todos los días laborables del año. El mismo análisis deberá hacerse con otras áreas de la planta, básicamente control de calidad, mantenimiento, asesoría legal, contratación de personal, vigilancia y personal de limpieza. (Urbina, 2010)

3.7.7. Programación de actividades

Un plan de actividades es un documento que recoge un conjunto de tareas necesarias para la consecución de una acción u objetivo concreto en un proyecto. Antes de realizar un proyecto es conveniente hacer un plan de actividades, el cual identifica cada una de las tareas que se deben completar para alcanzar los objetivos del proyecto. La planificación de actividades comienza con la elaboración de un plan de actividades, en el cual se pone la fecha y duración de las actividades a ejercer, así como las sub-tareas para su ejecución (SINNAPS, 2018).

Los métodos que se utilizan para realizar un plan de actividades son:

Diagrama de Gantt: Es una herramienta para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado. El cronograma de Gantt refleja a través de diagramas de barras horizontales y verticales la distribución y duración de cada una de las tareas del proyecto (Project Management, 2016).

Diagrama de Pert: Es una herramienta para gestionar proyectos complejos a largo plazo, donde se debe clarificar los plazos y la evolución de aquellas tareas que se lleven a cabo de forma simultánea. Su objetivo es la integración, a través de este método se descompone el proyecto en diversas actividades, cuya secuencia y relación se plasma por medio de símbolos denominados gráficos (Project Management, 2016).

Ruta crítica: Es uno de los métodos más novedosos, pero más efectivos. Este método se caracteriza por definir los plazos mínimos para finalizar un proyecto e identificar las restricciones que lo afectan. La duración de las actividades que forman la ruta crítica, determina la duración del proyecto entero y las diferencias con las otras rutas que no sean la crítica, se denominan tiempo de holgura, un proyecto puede tener más de una ruta crítica (Project Management, 2016).

IV. METODOLOGÍA

En el presente estudio, se realizó una propuesta tecnológica del proceso de obtención de Bromelina para el aprovechamiento de los residuos del procesamiento de piña, mediante un estudio técnico en la planta BURKE AGRO, S.A.

El método de extracción implementado para este estudio es el descrito en (Clavijo, D. et al. 2011) con el cual se dispone de un método efectivo y cuya conveniencia está acorde a los recursos físicos, tecnológicos, económicos y ambientales del país. Se determinó el potencial de rendimiento de los residuos de piña para la extracción de Bromelina a través de la fase experimental que tuvo lugar en las instalaciones de los laboratorios de Operaciones Unitarias y de Alimentos de la Universidad Nacional de Ingeniería.

La calidad del producto final que se obtuvo respecto a su actividad enzimática y concentración de proteínas se comparó con una muestra de Bromelina comercial.

De esta manera se realizó el estudio técnico de la propuesta tecnológica para el aprovechamiento de los residuos de piña a través de la obtención de Bromelina con el cual se estableció la localización y distribución de la planta, tamaño óptimo de la planta, disposición de los recursos humanos y físicos, capacidad de producción, proceso productivo y obras civiles.

4.1. Ensayos de extracción de Bromelina

El método empleado para la obtención de Bromelina, es el método proporcionado por (Clavijo, D. et al. 2011), el cual describe una metodología de extracción para la obtención de Bromelina a partir de pulpa, la cual se aplicó a los objetivos de la investigación, ya que, a diferencia de otros métodos propuestos, esta representa una alternativa con menos perjuicios a nivel ambiental.

4.1.1. Descripción del proceso productivo del análisis

Preparación de la materia prima

Se realizaron 8 pruebas, cada una de 1 Kg de residuos (bagazo, cascara, corazón), los cuales fueron obtenidos del procesamiento de piña de BURKE AGRO S.A. Dichas muestras fueron llevadas a las instalaciones del laboratorio de Química General de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), para realizarles análisis fisicoquímicos como °Brix y pH. Las muestras no fueron lavadas ya que estas son generadas como parte del subproceso de piña en donde previamente a la piña se le ha aplicado agentes higienizantes.

Corte

Con el objetivo de favorecer la etapa de extracción se disminuyó el tamaño de los residuos, en especial la cascara y el corazón cuyos tamaños se redujeron hasta alcanzar porciones de aproximadamente de 2 cm x 2cm de dimensión.

Trituración

Para reducir aún más el tamaño de la muestra y favorecer el proceso de extracción del extracto crudo de Bromelina, se utilizó un procesador de alimentos. Las mezclas resultantes fueron depositadas en diferentes Beakers de 500 mL.

Filtración

La mezcla será filtrada con la ayuda de papel filtro y de la aplicación de vacío al sistema, el cual permitirá aprovechar la mayor cantidad de jugo resultante.

Centrifugación

El jugo resultante de las muestras se centrifugó a 4000 rpm por 20 min, posteriormente el precipitado resultante se eliminó.

Extracción

El sobrenadante que se obtuvo del proceso de centrifugación, se le agregó Acetona al 75% v/v con relación volumétrica de 1:1 (extracto: acetona), y se dejó reposar por 2 días a una temperatura entre 5-10 °C.

Centrifugación

Las mezclas nuevamente fueron centrifugadas a 4000 rpm por 25 min. El sobrenadante se separó del precipitado. En esta ocasión el precipitado que se obtuvo correspondió a la Bromelina.

Secado

Para eliminar el porcentaje de humedad de la Bromelina extraída y teniendo en cuenta que la temperatura de ebullición de la acetona es de 58 °C, las muestras fueron secadas en una mufla a una temperatura de 60 °C por 20 min y luego enfriadas mediante el uso de un desecador, para que estas no adquirieran humedad y en general evitar así posibles daños a las muestras.

Almacenamiento

La Bromelina seca obtenida se empacó en fundas de plástico y almacenada a temperatura de refrigeración.

Recuperación del solvente

Se recuperó la acetona utilizada durante el proceso de extracción de Bromelina, el sobrenadante que se obtuvo en la última centrifugación se introdujo en un rota vapor a temperatura de 60 °C, hasta que se recuperó la mayor cantidad posible.

A continuación, se presenta el proceso de extracción de forma resumida en la siguiente figura:

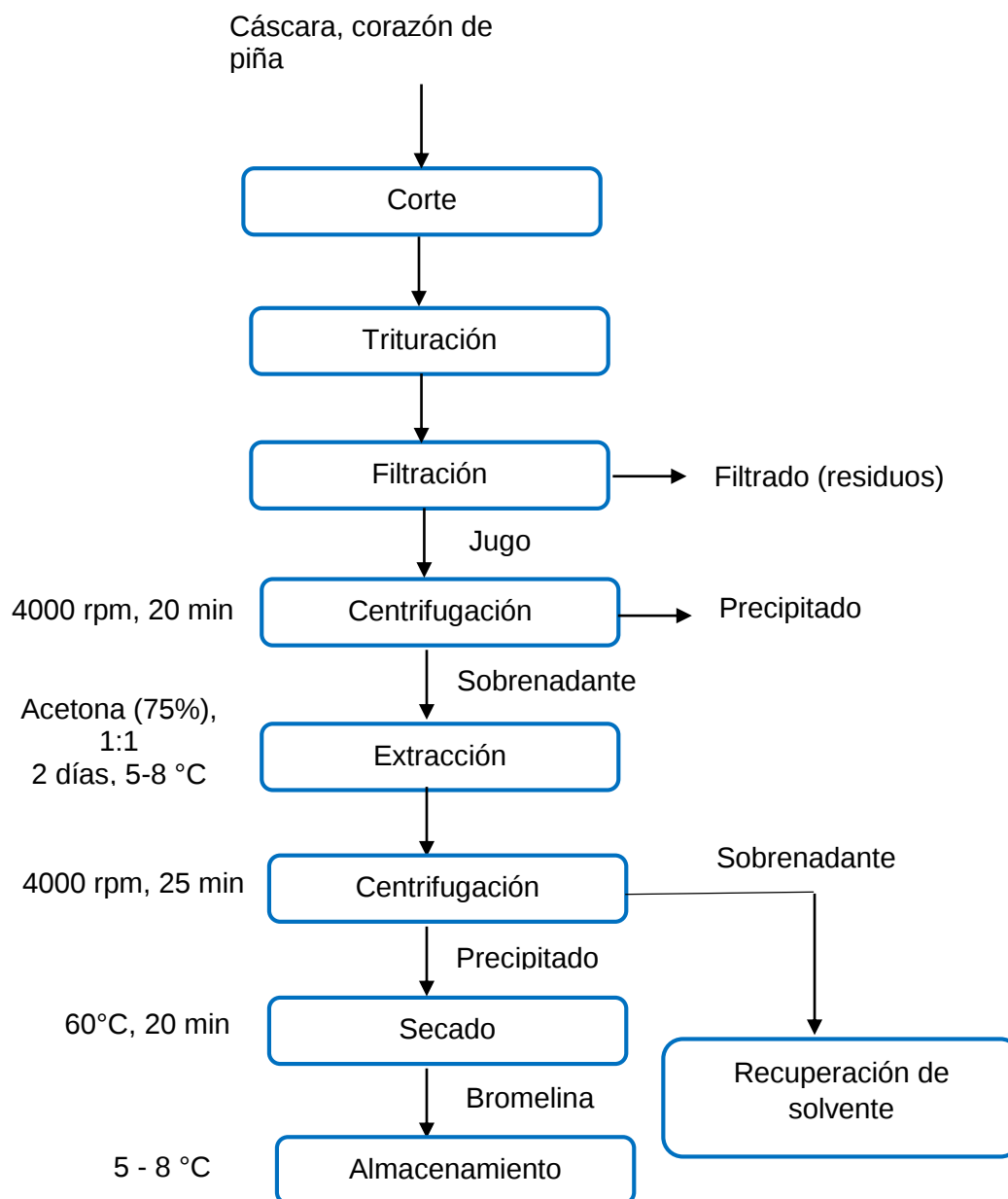


Figura 3. Proceso productivo de obtención de Bromelina

4.1.1.1. Materiales, equipos y reactivos

Para realizar el proceso de extracción de Bromelina, se necesitaron los siguientes materiales y reactivos:

Tabla 4. *Materiales, equipos y reactivos para el proceso de extracción de Bromelina*

Materiales	Reactivos	Equipos
Filtro prensa	Acetona 75%	Balanza analítica
Papel filtro	Agua destilada	Centrífuga
Beakers 500 mL		Refrigeradora
Matraz aforado		Mufla
Filtro prensa		Desecador
Cápsulas de porcelana		Rotavapor
Pipeta		Campana de seguridad
Cronómetro		
Bureta		
Probetas		
Tubos para centrifuga		
Envases de plástico 500 mL		
Fundas de plástico		

Fuente: Elaboración propia, basado en: Clavijo, D. et al. (2011).

4.2. Determinación de parámetros de calidad

4.2.1. Determinación de la actividad proteolítica

El método seleccionado es el método analítico para la unidad de digestión de gelatina GDU que se define como la cantidad de enzima que libera 1mg de nitrógeno amino de una solución estándar de gelatina a pH 4.5 o 5.5 después de 20 minutos de digestión a 45°C. El método se fundamenta en la capacidad que tiene la Bromelina en hidrolizar la gelatina a temperaturas y pH establecidos.

Cada una de las muestras fueron analizadas, para determinar su actividad proteolítica, dicho procedimiento en base a (Enzymes Development Corporation, s.f), se encuentra detallado en el (Anexo B, 9.2.2.)

4.2.1.1. Materiales, equipos y reactivos

Para realizar la determinación de la actividad proteolítica de la Bromelina se hizo uso de los siguientes materiales, equipos y reactivos:

Tabla 5. Materiales y reactivos para la determinación de actividad proteolítica

<i>Materiales</i>	<i>Equipos</i>	<i>Reactivos</i>
Probetas	Potenciómetro	Hidróxido de sodio 0.1N
Bureta	Balanza analítica	Gelatina mikrobiologie
Matraces aforados	Campana de seguridad	Ácido clorhídrico 0.1N
Pipetas aforadas	Baño de agua	Cloruro de sodio
Micropipetas		Ácido acético glacial
Vasos precipitados		Ácido clorhídrico 0.2N
Cronómetro		Peróxido de hidrógeno al 30%
		Formaldehido
Micropipetas		
Vasos precipitados		

Fuente: Elaboración propia, basado en Enzymes Development Corporation. (s.f).

4.2.1.2. Determinación de la concentración de proteínas

El método que se aplicó para la determinación de proteínas es el método de Kjeldahl de la norma general (AOAC 22:052) descrita en (FAO, 2006). Se prestaron los servicios del Laboratorio de Tecnología de los Alimentos (LABAL) para poder conocer las concentraciones de proteínas de la Bromelina obtenida así como la comercial.

Se tomaron dos muestras de 227 gramos cada una para realizar el muestreo. De esta manera por objetos de estudio se utilizó el método de Kjeldahl. Sin embargo, para estimar la propuesta se aplicó el método de Biuret detallado en (*Anexo, Apéndice B, 9.2.1*)

4.2.1.3. Análisis fisicoquímicos de Bromelina seca

Se realizaron pruebas fisicoquímicas a la Bromelina seca como %H y aW con el fin de determinar que el método utilizado para la extracción de Bromelina permita obtener Bromelina con condiciones óptimas para su almacenamiento. Para ello se realizó a cada muestra análisis de porcentaje de humedad y actividad de agua.

4.3. Estudio técnico

4.3.1. Localización:

Para establecer la localización del proyecto no se realizó la macro localización ya que dicho proyecto se llevará a cabo en las instalaciones de la planta en BURKE AGRO S.A. Sin embargo se realizó el análisis de micro localización tomando en cuenta el Layout actual de la planta y factores como: accesibilidad de materia prima y disponibilidad de servicios básicos y auxiliares.

4.3.2. Descripción del proceso productivo

El proceso productivo que se empleó para la extracción de Bromelina está basado en el método de (Clavijo, D. 2011), el cual fue empleado en la fase experimental. Se seleccionó el tipo de proceso en dependencia de los tiempos de operación de manera que se evitaran tiempos muertos en la producción. Se determinaron los balances de materia de las etapas del proceso y las condiciones de operación y etapas del proceso se mostraron mediante diagrama de flujo utilizando las normas ISO 9000 y diagrama de bloque.

4.3.3. Requerimiento de equipos

Se seleccionó los equipos requeridos tomando en cuenta los factores detallados en el marco teórico, que (Urbina, 2010) mencionaba, se determinó las capacidades mediante los cálculos de balance de masa y transferencia de calor, una vez realizados los balances se realizaron fichas técnicas para cada equipo y se clasificaron de acuerdo a su función, respecto a aquellos que se encuentran en el proceso y aquellos que se ven involucrados indirectamente en equipos mayores y menores. Los equipos fueron cotizados en páginas electrónicas como: Zumex food Engineering y Alibaba.

4.3.4. Planos de disposición y distribución de áreas

Se utilizó el método SLP, el resultado de esta fase nos llevó a obtener un bosquejo o diagrama a escala de la futura planta. De acuerdo a (Urbina, 2010), el método SLP utiliza una técnica poco cuantitativa al proponer distribuciones con base en la conveniencia de cercanía entre los departamentos.

El método realizado fue el siguiente:

- Se construyó una matriz diagonal, se anotaron los datos correspondientes al nombre del departamento y al área que ocupa.
- Los cuadros de la matriz (diagrama de correlación) se llenaron con la letra del código de proximidades que se consideraron más acorde con la necesidad de cercanía entre los departamentos, tal y como se muestra en la Figura 6.1

Departamento		Área m ²	
Recepción de materiales	1	20	A
Almacén materia prima	2	50	A E
Armado	3	85	A I U U I
Fabricación	4	100	A I U U I U
Almacén producto terminado	5	60	E X X
Oficinas	6	40	U E X X
Sanitarios	7	15	O U

Figura 4. Matriz diagonal (diagrama de correlaciones) (Urbina, 2010)

- Se construyó un diagrama de hilos a partir del código de proximidad tal como se refleja en la Figura 6.2, para conseguir distribuciones de actividades o áreas lo más próximas posible.
- El diagrama de hilos coincidió con el de diagrama de correlación (Matriz SLP) en lo que se refiere a la proximidad de los departamentos, por lo que este esquema se consideró como la base para proponer la distribución de la planta.

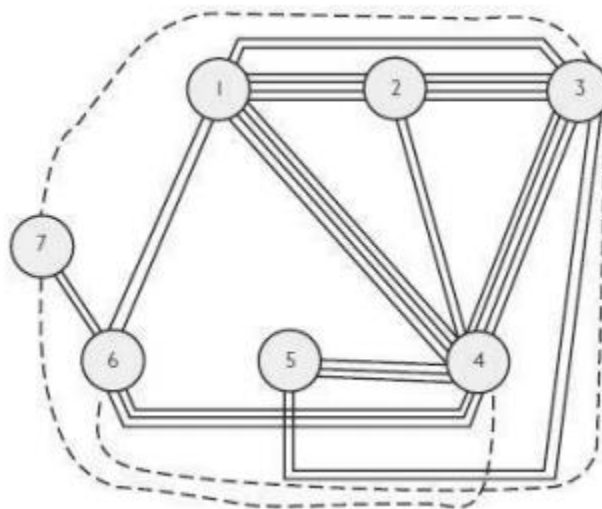


Figura 5. Diagrama de hilos (Urbina, 2010)

La distribución de la planta de la empresa no se verá modificada, sin embargo, nuevas instalaciones se proyectan como un anexo, ya que actualmente se cuenta con suficiente área libre para el levantamiento de una nueva construcción.

4.3.5. Requisitos organizacionales

Se construyó una tabla que detalle los cargos y el número de colaboradores que se requieren para este proyecto desde lo operativo a lo administrativo (Recursos Humanos), en la cual se especifica el estatus del colaborador es decir si será personal antiguo o nuevo recluta, cabe destacar estos estarán regidos bajo los principios de la política salarial vigente de la empresa. Así mismo se determinaron las actividades que se realizarán de forma externa mediante la prestación de servicios profesionales o empresas subcontratadas.

4.3.6. Organización de la empresa

Se realizó un organigrama independiente al actual de la empresa ubicando el área y/o departamento que se requieren para el proyecto y su dependencia.

Se determinó el mobiliario y materiales de oficina que se requieren, valiéndose de las cotizaciones a las casas comerciales y librerías que actualmente operan del país.

4.3.7. Requerimiento operativo

Se totalizó el requerimiento energético de los equipos seleccionados y también el consumo de agua, entre otros servicios para el proceso mediante los balances de materia y energía.

4.3.8. Obras civiles

Se dimensionó las obras civiles requeridas en las instalaciones para el proceso productivo de extracción de Bromelina tomando en cuenta la distribución de la planta, tamaño y el requerimiento de equipos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Ensayos de extracción de Bromelina

En este acápite se describen los datos obtenidos en la fase experimental a escala laboratorio desde el momento de la preparación de la materia prima hasta la implementación del proceso de extracción de Bromelina, aplicando el método proporcionado por (Clavijo, D. et al. 2011), dichos ensayos tuvieron lugar en el laboratorio de alimentos de la facultad de ingeniería química.

5.1.1. Preparación de la materia prima

Se ensayaron 8 muestras de 1 Kg de residuo de piña (cascara y corazón) procedentes de las instalaciones de Burke Agro S.A, a cada una de estas se les practicó ensayos para la determinación de grados °Brix y pH, utilizando el potenciómetro de mesa Inolab X-10 y el refractómetro Aqueous Lab, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6. *Resultados de análisis fisicoquímicos de materia prima*

Análisis	M 1	M 2	M 3	M4	M5	M6	M7	M8	Promedio
°Brix	13	11	12	12	11	13	13	12	12
pH	3.57	3.52	3.55	3.56	3.54	3.59	3.57	3.56	3.56

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Proceso de extracción de Bromelina

Se realizó el proceso de extracción de Bromelina de acuerdo al procedimiento detallado por (Clavijo, D. et al. 2011), obteniendo los siguientes rendimientos en cada etapa.

Corte: Se realizó el corte de la materia prima utilizando un cuchillo y una regla de plástico de modo que se aproximara el tamaño de los residuos a una forma de cuadro de 2×2 cm.

Pesaje: Se pesó 1 Kg de materia prima en 8 recipientes individuales y se identificaron las muestras rotulándose con la numeración del 1 al 8.

Trituración: Se trituró la materia prima con ayuda de un procesador de alimentos Hamilton Beach de 450 W por un tiempo de 2 minutos por cada muestra.

Filtración: Se filtró a presión por un tiempo de 5 minutos hasta separar los desechos sólidos (bagazo) del jugo resultante. Se obtuvo 526 gramos de jugo de cascara y corazón en promedio teniendo en cuenta que la densidad del jugo de cascara y corazón es de

1.05 g/mL y un desecho húmedo de 397.6 gramos en promedio por cada muestra de 1 kg, teniendo un rendimiento de 52.6 % jugo de cascara y corazón de piña y de 39.8% para el bagazo. Este proceso se realizó de forma manual con la ayuda de un pedazo de tela de algodón, por lo cual se estiman pérdidas de 0.92% en dicho proceso

Tabla 7. *Resultados de proceso de filtración*

Análisis	M 1	M 2	M 3	M4	M5	M6	M7	M8	Promedio
Extracto liquido (g)	515	526	535	512	513	538	541	525	526 g
Bagazo (g)	400	395	398	391	401	393	399	404	397.6 g

Fuente: Elaboración propia.

Centrifugación 1: Se centrifugó el jugo resultante de la filtración utilizando una centrifuga de cesta marca Variseal a 3200 rpm por 25 minutos. Este proceso se realizó alrededor de 18 veces debido a la capacidad del equipo que se contaba para dicho procedimiento. Se separó el precipitado resultante correspondiente a residuos sólidos de cascara y corazón de la muestra obteniéndose un resultante de jugo sobrenadante de 450 mL en promedio y un rendimiento del 90%.

Tabla 8. *Resultados de proceso de centrifugación I*

Análisis	M 1	M 2	M 3	M4	M5	M6	M7	M8	Promedio
Extracto liquido (mL)	445	440	450	430	460	455	470	450	450.0 mL
Bagazo (g)	42	46	48	41	46	48	43	49	45.3 g

Fuente: Elaboración propia.

Extracción: Se realizó la extracción de Bromelina agregando en relación volumen (1:1) acetona al 75% al sobrenadante resultante de la centrifugación. De esta manera se maceró 450 mL de acetona con 450 mL de extracto de Bromelina a 5 grados Celsius por 5 días, tiempo que difiere del proceso de referencia ya que se observó mayor Bromelina extraída a los 5 días.

Centrifugación 2: Se centrifugó una vez más la muestra a 3200 rpm por 30 minutos utilizando el mismo equipo de la centrifugación 1, se separó el precipitado resultante correspondiente a Bromelina y la fase acuosa resultante que contenía el solvente de extracción (acetona) más agua para posteriormente ser recuperado. Se obtuvo 820 mL de solvente en promedio y agua con un rendimiento de 91.7%, de tal manera que de precipitado húmedo de Bromelina se obtuvo un rendimiento del 8.3%.

Tabla 9. *Resultados de proceso de centrifugación II*

Análisis	M 1	M 2	M 3	M4	M5	M6	M7	M8	Promedio
Solvente (mL)	820	820	830	795	840	820	810	825	820 mL
Precipitado (g)	82	83	84	80	81	83	86	85	83 g

Fuente: Elaboración propia.

Secado: La Bromelina se secó en un horno a 65 grados Celsius por un tiempo de 25 minutos, obteniendo 50.25 gramos de Bromelina seca en promedio. De acuerdo al método de (Clavijo, D. et al. 2011), el tiempo de secado era de 15 minutos. Sin embargo en la fase experimental se determinó que a 25 minutos de secado se puede obtener un producto con mejores características para su conservación.

Tabla 10. *Resultados del proceso de secado*

Análisis	M 1	M 2	M 3	M4	M5	M6	M7	M8	Promedio
Precipitado (g)	51	48	52	53	44	53	49	52	50.25 g

Fuente: Elaboración propia.

Almacenamiento: Se almacenó la Bromelina seca obtenida en bolsas de tipo ziploc retirando la mayor cantidad de aire posible y así evitar su degradación.

Los parámetros de operación de cada una de las etapas fueron realizados tomando en cuenta el método descrito en (Clavijo, D. et al. 2011)

Recuperación de solvente: Se realizó la recuperación del solvente por medio de un rota vapor a una temperatura de 65 grados Celsius. De tal manera que es posible recuperar el solvente con un rendimiento del 95.92%.

Tabla 11. *Resultados del proceso de recuperación del solvente*

Análisis	M 1	M 2	M 3	M4	M5	M6	M7	M8	Promedio
Solvente (mL)	440	435	420	415	420	440	435	440	430.62mL

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Determinación de parámetros de calidad

5.3.1. Actividad proteolítica

Se utilizó el método de Unidades de digestión de la Gelatina GDU para cuantificar la actividad proteolítica de la Bromelina, procedimiento descrito en el (*Anexo, Apéndice B, 9.2.1.*). Con los registros del volumen usado en la titulación de la solución prueba y la solución blanco se obtuvieron los valores de T(Solución prueba) y B(Blanco) respectivamente, mostrados en la Tabla 12.

Tabla 12. Volúmenes de titulación T (solución prueba) y B (Blanco)

B(Blanco)	T(solución prueba)
3.8	6.6
	6.2
	6.4
	6.1
	6.0
	6.5
	6.2
	6.6

Fuente: Elaboración propia.

Los valores mostrados en (Tabla 13) son reemplazados en la ecuación mostrada a continuación y que se explica con detalle en el anexo (Apéndice B, 9.2.1).

$$GDU/g = \frac{(T - B) \times 14 \times N \times 50}{Wt_{(g)}}$$

Resolviendo la ecuación se obtienen los valores de actividad proteolítica, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Actividad proteolítica de Bromelina de cascara y corazón (GDU/g)

N de muestra	Actividad proteolítica (GDU/g)
1	1960
2	1800
3	1950
4	1725
5	1650
6	2025
7	1800
8	1960

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo que la actividad proteolítica promedio es de 1859 GDU/g. De acuerdo a los datos obtenidos en (Salcedo, N. & Magallanes, J. 2013). La actividad proteolítica de

Bromelina comercial varia en un rango de 1700 - 2500 GDU/g. Dicho esto la Bromelina obtenida de los desechos de procesamiento de la piña (cascara y corazón) posee una actividad proteolítica dentro de los rangos de Bromelina comercial.

5.3.2. Concentración de proteínas

La determinación de concentración de proteínas fue realizada por el método general de Kjeldahl (Basado del método general de la AOAC 22:052), que detalla (FAO. 2006). La Tabla 14 muestra los resultados obtenidos tanto para la Bromelina obtenida en contraste con la Bromelina comercial. (Ver Anexo, Apéndice C, 9.3.1 y 9.3.2).

Tabla 14. Comparación de la Concentración de proteínas en Bromelina obtenida y comercial

Análisis	Bromelina obtenida	Bromelina comercial
Concentración de proteína(g/muestra)	7.94	11.07
Concentración de proteína (%)	3.5	4.88

Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo una concentración de proteínas de 7.94 g/227 gramos de muestra en Bromelina obtenida y 11.07 g/ 227 gramos de muestra en Bromelina comercial. Obteniendo una concentración de proteínas del 3.5 % y 4.88 % respectivamente. Lo que muestra una diferencia de 28.27% de concentración de proteínas obtenida respecto a Bromelina comercial.

5.3.3. Análisis fisicoquímicos de Bromelina seca

Se realizó análisis como % de Humedad y aW para determinar las condiciones adecuadas de conservación de la Bromelina seca. El porcentaje de humedad se calculó mediante el uso de la termobalanza en el que se colocaron 5 gramos por muestra. Se puede evidenciar el resultado de un polvo con un valor bajo de actividad de agua y de humedad; similar al de enzimas comerciales, lo que se resume en un producto con buena estabilidad ante factores de deterioro (Enzyme Development Corporation, (s.f).

Se describe en la Tabla 15, el porcentaje de humedad promedio que se obtuvo fue de 10.9 % y aW de 0.54.

Tabla 15. Análisis fisicoquímicos de Bromelina seca obtenida

Análisis	M 1	M 2	M 3	M4	M5	M6	M7	M8	Promedio
% Humedad	11.2	10.7	10.8	10.6	11.6	10.7	9.7	11.9	10.9
aW	0.55	0.53	0.54	0.51	0.56	0.54	0.48	0.58	0.54

Fuente: Elaboración propia.

5.4. Estudio técnico

5.4.1. Localización

Se realizaron visitas a las instalaciones de la planta Burke Agro S.A. para poder determinar el sitio donde estaría convenientemente mejor localizada la instalación de la planta de extracción de Bromelina de modo que la propuesta tecnológica se integre dentro de la propiedad de la empresa y pueda apoyarse de ciertos requerimientos y recursos ya existentes.

5.4.1.1. Micro localización

Para valorar la propuesta de las instalaciones de la planta de extracción de Bromelina se realizó un levantamiento físico en los terrenos libres disponibles dentro de la planta, de lo cual resultaron dos alternativas (A y B), las cuales posteriormente se analizaron mediante el método cualitativo por puntos, considerando como factores relevantes: disponibilidad de servicios auxiliares, accesibilidad de materia prima y condiciones de terreno.

Tabla 16. *Alternativas de micro localización de la planta en Burke Agro S.A*

Alternativa	Dirección	Características
A	Km. 42.75 Carretera San Marcos - Jinotepe, 400m al oeste, San Marcos, Carazo, Nicaragua.	248.4 m ² de terreno plano, contiguo al área de producción, fácil instalación de servicios auxiliares
B		304 m ² de terreno quebrado, localizado a 20 m del área de producción, contiguo al taller de mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

- Interpretación de factores:
 - a) Accesibilidad de materia prima: Se considera un factor relevante ya que al tener un fácil acceso de materia prima (residuos de piña), se minimiza la exposición de esta al ambiente y permite estructurar un flujo de proceso mejor integrado para la empresa.
 - b) Disponibilidad de servicios auxiliares: Los servicios auxiliares son elementos claves para la operación del proceso productivo, es por esta razón que su disponibilidad es un factor relevante, siendo los considerados como indispensables: agua, energía, vapor.

c) Condiciones del terreno: Un terreno con condiciones topográficas planas hace más fácil las actividades de construcción, además de reducir el costo de esto, también se consideran aspectos como el tipo de suelo, cambios al ecosistema y movimiento de materiales.

- Evaluación de las alternativas:

Para evaluar las alternativas presentadas, se asignó peso a los factores descritos.

Tabla 17. *Parámetros de evaluación de las alternativas.*

Factor	Peso
Accesibilidad de materia prima	0,4
Disponibilidad de servicios auxiliares	0,4
Condiciones del terreno	0,2
Total	1

Fuente: Elaboración propia.

En la (Tabla 18) se muestra los resultados de la evaluación de las alternativas, mediante la calificación simple y calificación ponderada:

Tabla 18. *Evaluación ponderada de las alternativas.*

Factor	Peso	Calificación		Calificación ponderada	
		A	B	A	B
a	0,4	10	7	4	2,8
b	0,4	9	6	3,6	2,4
c	0,2	8	6	1,6	1,2
Total				9,2	6,4

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al método cualitativo de puntos se determina la alternativa A, como la mejor opción para localizar las instalaciones del proyecto, con una calificación ponderada de 9,2.

5.4.2. Proceso productivo

El proceso productivo de planta de extracción de bromelina consta de un conjunto de operaciones y etapas que permitan la transformación de la materia prima en un producto terminado que cumpla con las características necesarias para su comercialización.

5.4.2.1. Programa de producción

La planta productora de bromelina propuesta tendría una capacidad del 2,573.46 Kg anualmente, la cantidad de producción semanal es de 50.46 Kg/semana, resultado obtenido de la división de la capacidad anual entre 51 semanas operacionales.

Todo el personal de la planta trabaja en una jornada diaria de lunes a sábado, de lunes a viernes se labora en un turno regular de 8 horas, en un horario de 8:00 am a 5:00 pm dentro del cual se contempla una hora para tomar almuerzo de 12:00 pm a 1:00 pm, los días sábados se labora en un horario de 8:00 am a 12:00 pm, sin hora para tomar almuerzo.

La administración de la planta realiza un pedido mensual de materiales, insumos, y materias primas, al departamento de compras, con quien se coordina las entregas de los mismos en la primera semana de cada mes.

Las actividades de mantenimiento tendrán lugar los días en que los equipos se encuentren en paro logrando así optimizar los tiempos muertos en la producción.

5.4.2.2. Descripción del proceso

Recepción de materia prima

La materia prima (corazón y cascará) se pesará en cubetas de capacidad de 5 galones (24.9 kg) y posterior a esto deben ser almacenados en condiciones de refrigeración a una temperatura de 6°C, con el propósito de ralentizar su descomposición. Su almacenamiento debe permanecer bajo estas condiciones hasta su posterior tratamiento. Este proceso dura aproximadamente 1 hora y 30 minutos.

De igual forma en esta etapa se realizará el análisis de la materia prima como pH, Brix, acidez con el objetivo de mantener controlado estos parámetros de manera que cumplan con los establecidos para la obtención de Bromelina.

Trituración

La materia prima (corazón y cascara) de piña son trituradas por medio de un triturador de frutas, un elevador de cangilones transporta la materia prima hacia el triturador ZRC 500

para extraer el jugo contenido en dichos residuos. Este proceso tarda 1 hora y 30 minutos aproximadamente. Realizando la trituración en dos lotes.

Filtración

La mezcla resultante de la etapa de trituración es filtrada con el objetivo de remover los desechos sólidos del jugo por medio de un filtro prensa FPA-47. Este tipo de filtración ayuda a tener un mayor rendimiento en la separación solido-liquido debido al uso de presión en la filtración. Una vez que se realice la separación los desechos sólidos son almacenados en cubetas de capacidad de 5 galones y enviados a refrigeración. El jugo resultante es enviado a una centrifuga donde se realizará la siguiente etapa, este proceso dura 1 hora con 25 minutos.

Centrifugación I

El jugo obtenido en el filtrador deberá ser centrifugado para eliminar cualquier material fibroso restante que se encuentra suspendido en la solución ya que no existe filtro que garantice la eliminación total de los sólidos suspendidos en la solución de jugo. Para ello se utiliza la centrifuga LW250xL025E la cual centrifuga el jugo a 5000 rpm con el fin de separar la mayor cantidad de desechos sólidos suspendidos. Este proceso toma 1 hora con 35 minutos aproximadamente, los desechos sólidos son recolectados en cubetas y almacenados en refrigeración y el jugo clarificado es enviado a un tanque mezclador enchaquetado donde se realizará la extracción de Bromelina.

Extracción

El jugo clarificado que se obtiene del proceso de centrifugación, se mezclará con Acetona al 75% v/v con relación volumétrica de 1:1 (extracto: acetona) a un mezclador enchaquetado CF-100 que mantendrá la temperatura entre 5-8 °C. La acetona es el solvente de extracción el cual en un periodo de 72 horas extraerá la Bromelina contenida en el jugo de cascará y corazón de la piña. La acetona será previamente diluida en un tanque mezclador KQ-1000 mientras se realiza la etapa de centrifugación I.

Centrifugación II

Pasado el tiempo de extracción se centrifugará la mezcla resultante nuevamente con la ayuda de la centrifuga LW250xL025E para separar el desecho solido (Bromelina) del líquido (acetona + jugo) a 5000 rpm. El desecho solido será recolectado en cubetas y el líquido enviado a un tanque donde se almacenará el líquido para posteriormente recuperar la acetona. Este proceso se realizará en dos lotes tomará alrededor de 2 horas.

Secado

Para eliminar el porcentaje de humedad de la Bromelina extraída y teniendo en cuenta que la temperatura de ebullición de la acetona es de 58 °C, la Bromelina (desecho solido) es secada a una temperatura de 60 °C, este proceso se realizará en lotes y su disposición en las bandejas será de forma manual para dejar una superficie de secado lo más uniforme posible. Se reducirá la humedad de la Bromelina hasta un 10.9%, para lograr un mayor tiempo de vida útil en su almacenamiento. El tiempo de secado es de 1 hora con 30 minutos.

Enfriamiento

Se realiza el enfriamiento del polvo de Bromelina dejando reposar el producto en el secador por un periodo de 30 minutos para su posterior envasado.

Envasado

El envasado de la Bromelina se realizará con la ayuda de una envasadora automática de polvos, que realizará el llenado de la Bromelina en frascos plásticos PET de 100 gramos en condiciones asépticas. Su velocidad de dosificación de 25 a 50 dosis por minuto permitirá realizar el envasado de 505 frascos por lotes en un tiempo de 30 minutos.

Etiquetado y embalaje

Se realiza el etiquetado de los frascos de forma manual, el embalaje de 12 frascos por caja de cartón y posteriormente se van disponiendo las cajas en polines para su traslado al área de almacenamiento de producto final. Este proceso toma aproximadamente 1 hora con 30 minutos.

Almacenamiento

La Bromelina posteriormente es enviada al área de producto terminado donde se almacenarán los frascos a temperatura de 20-25 ° C.

Recuperación del solvente

Para recuperar la acetona utilizada durante el proceso de extracción de Bromelina, el sobrenadante que se obtendrá en la última centrifugación se introducirá a temperatura de 60 °C, hasta recuperar la mayor cantidad posible de solvente.

5.4.2.3. Diagrama de Bloques

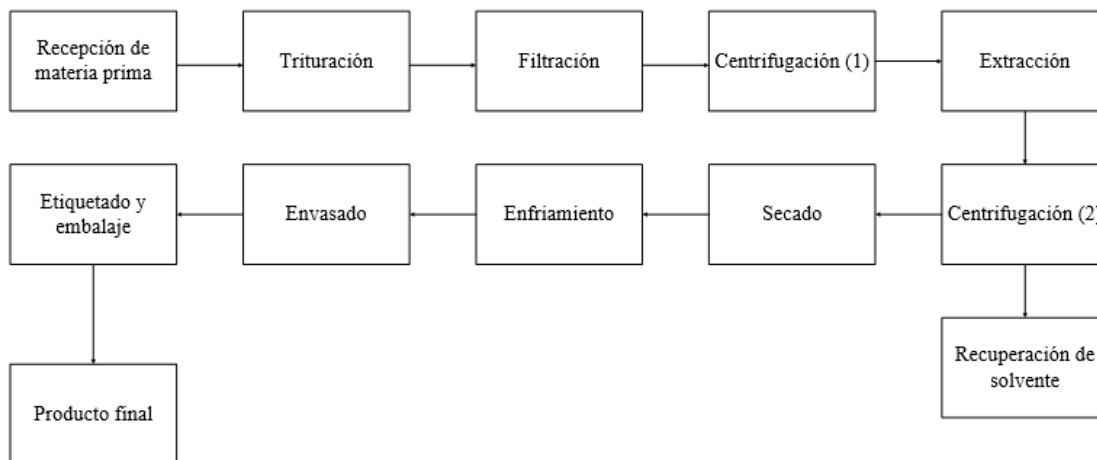


Figura 6. Diagrama de bloques del proceso de obtención de Bromelina. Elaboración propia

Tiempo de operación en cada etapa:

1. Recepción de materia prima **1 h 30 min**
2. Trituración **1 h 30 min**
3. Filtración **1 h 25 min**
4. Centrifugación (1) **1h 35 min**
5. Extracción **72 horas**
6. Centrifugación (2) **2 horas**
7. Secado **1h 30 min**
8. Enfriamiento **30 min**
9. Envasado **30 min**
10. Etiquetado y embalaje **1 h 30 min**

El tiempo de operación para la primera fase de producción de Bromelina desde la recepción de materia prima hasta la Centrifugación I es de 8 horas, donde se incluyen tiempo de carga, descarga y limpieza al inicio y al finalizar la jornada (no se incluye el tiempo de reposo de la etapa de extracción). La segunda fase comprende la etapa de extracción que será una etapa de reposo de 72 horas. La tercera fase del proceso que incluye desde la centrifugación II hasta el etiquetado y embalaje del producto final es de 8 horas comprendiendo carga y descarga del producto y limpieza de maquinarias. El total del tiempo de operación para la producción por semana de un lote de Bromelina es de 16 horas.

5.4.2.4. Diagrama de flujo del proceso de extracción Bromelina (Norma ISO 9000)

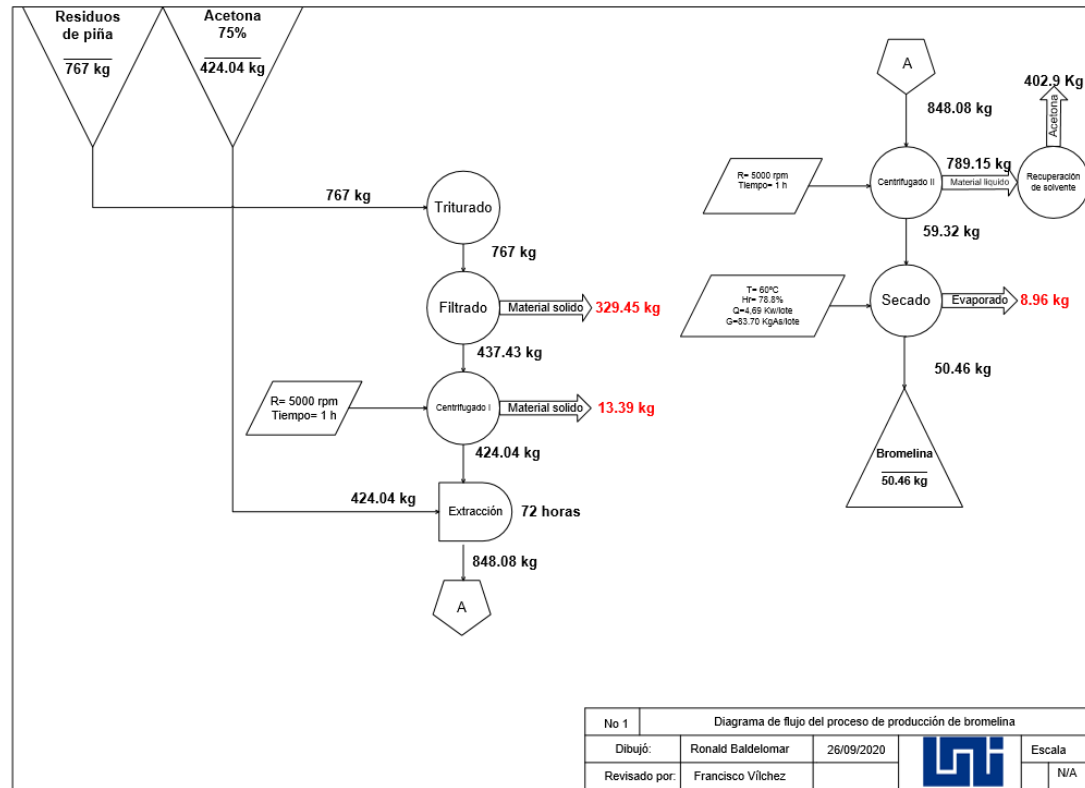


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de extracción de Bromelina. Elaboración propia

5.4.2.5. Diagrama de equipos

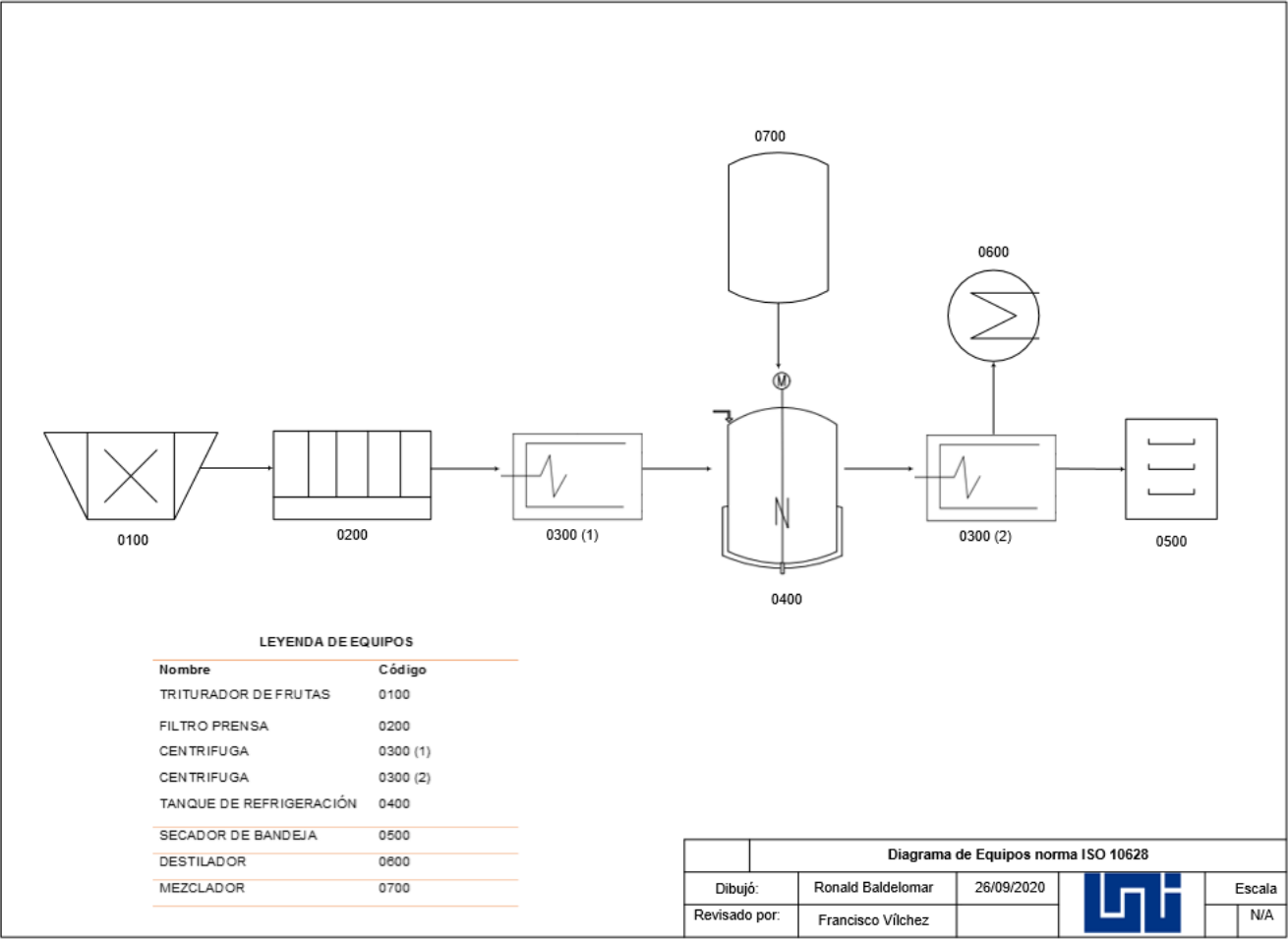


Figura 8. Diagrama de equipos

5.4.3. Equipos

Los equipos fueron seleccionados con el objetivo de integrar una línea de producción que opere funcionalmente considerando las etapas y los tiempos establecidos en el proceso productivo y en correspondencia con las cantidades calculadas el balance de materiales y energía. En Tabla 19 se detalla: cantidad, país de origen, nombre del equipo, especificaciones técnicas y funcionamiento de los equipos mayores que conforman la línea de producción.

5.4.3.1. Equipos mayores

Tabla 19. *Equipos mayores para el proceso de obtención de Bromelina*

Cantidad	País de origen	Equipo	Especificaciones técnicas	Funcionamiento
1	España	Elevador y triturador de frutas - ZRC 500	LxAxA : 2.6x0.67x2.17[m] Capacidad: 100-500 [kg/h] Material: AISI 304 Potencia del motor triturador: 4 [KW] Potencia del motor elevador: 1.5 [KW]	Este equipo se utilizará para extraer el jugo del corazón y cascará de la piña. El elevador de cangilones transportara la materia prima (cascara y corazón) hacia el triturador.
1	España	Filtro prensa FPA-47	LxAxA : 1.4x1.17x1.37[m] Capacidad: 700 [kg/h] Potencia: 3 [KW] Numero de placas: 5 Numero de cámaras: 4 Superficie filtrante total: 1.4 [m ²] Volumen total de la torta: 19 [L]	El filtro prensa FPA-47 filtrara el jugo resultante de la cascara y corazón separando el desecho solido del líquido.
1	China	Centrifuga LW250xL025 E	LxAxA: 2.5x0.8x1.5 [m] Capacidad: 0.5 – 5 [m ³ /h] Potencia: 7. [KW] Velocidad: 5000 [rpm] Potencia auxiliar: 3 -4 [KW]	Posee un sistema típico doble rotor diferencial y cuenta internamente con un dispositivo de descarga para bomba centrífuga con presión para evitar que el sobrenadante sea expulsado a alta velocidad, este equipo se utilizará en dos etapas del proceso para la primera centrifugación que se requiere separar el bagazo del jugo de cascara y corazón de piña y posteriormente en el proceso de separación de la bromelina
1	China	Mezclador KQ 1000	LxAxA: 1.5x1.5x2.5 [m] Capacidad: 500 [L]	El Tanque mezclador KQ 1000 servirá para realizar la

			Diametro: 1.5 [m] Potencia del motor: 0.37 [KW] Velocidad nominal: 380 [rpm] Material: AISI 316 L	disolución de Acetona 70% con agua destilada, solvente que se utilizará para extraer la Bromelina contenida en el jugo de cascará y piña. Este solvente será enviado al tanque enchaquetado donde se realizará la extracción.
1	China	Tanque de refrigeración CF-100	LxAxA: 2.1x1.46x1.45 [m] Capacidad: 1000 [L] De refrigeración: 8.845 [KW] Potencia: 3 [KW] Espesor de aislamiento: 0.5 [m] Especificación de compresor: 3P ZB21KQ	El tanque de refrigeración cuenta con una chaqueta de aislamiento hecha de espuma de poliuretano de 60-80mm con un buen rendimiento de aislamiento térmico, en este equipo se hará la mezcla del solvente con el jugo de piña y se dará la extracción Liquido-Liquido por el tiempo establecido.
1	China	Secador HG-1	LxAxA: 1.55x0.88x2 [m] Capacidad: 50 [kg/lote] Energía: 9 [KW] Numero de bandejas: 24 [un] Material: AISI 304 L Área de placas: 5,76 [m²] Voltaje: 220-380 [V]	El Secador HG-1 realizará la reducción de humedad de la Bromelina húmeda hasta alcanzar una humedad del 10.9% en Bromelina seca. Se dispondrá la Bromelina en las bandejas del secador, realizando dicho proceso a una temperatura de 65 °C.
1	Italia	Destilador DQ 230 Ax	LxAxA: 1.6 x 3.6 x 2.2 [m] Volumen total del rehervidor: 410 L Potencia instalada: 1.6 [KW] Temperatura de trabajo: 50 - 180 °C Tiempo de proceso: 4,00 - 5,30 horas Para reciclar disolventes inflamables y no inflamables	El destilador DQ 230 Ax, servirá para la etapa de recuperación de solvente (Acetona), una vez terminado el proceso de centrifugación, este equipo trabajará con dos lotes de la mezcla liquida (acetona, agua, jugo de piña) de acuerdo a la capacidad del rehervidor.

Fuente: Elaboración propia.

5.4.3.2. Equipos menores

Para el transporte de los fluidos y empaqueo de materiales durante el proceso se requiere de la instalación de equipos auxiliares, estos equipos se consideran equipos menores de la línea de producción. En la Tabla 20 se detalla: cantidad, país de origen, nombre del equipo, especificaciones técnicas y funcionamiento de los equipos menores que conforman la línea de producción.

Tabla 20. *Equipos menores para el proceso de obtención de Bromelina*

Cantidad	País de origen	Equipo	Especificaciones técnicas	Funcionamiento
4	China	Bomba centrífuga	Material: AISI 304 o AISI 316L Tasa de flujo: 1 [m ³ /h] Potencia: 0.37 [KW] Tamaño de entrada: 0.032 [m] Tamaño de salida: 0.025 [m] Cabeza de levantamiento: 13 [m]	Este equipo tendrá la función de transportar los fluidos durante el proceso: jugo de piña centrifugado, acetona, agua para lavado, etc.
1	México	Dosificadora automática de polvos	Dimensiones de la máquina: 2.5 × 1.24 × 2.30 [m] Capacidad de tolva polvos: 12.5 [kg] Energía: 2Kw. Precisión de las dosis: ±2 a 3% Presión de aire: 6-8kg/cm ² Suministro de aire: 0.2m ³ /min Corriente eléctrica: 220 volts, 60hz. Velocidad: De 25 a 50 dosis por minuto Rango de llenado: De 100 a 5000 gramos.	El dosificador automático de polvos realiza la dosificación de la Bromelina en frascos con contenido de 100 gramos, realizando a su vez el sellado automático de los frascos en condiciones asépticas.

1	China	Evaporador de aire acondicionado AK633C8	Dimensiones de la máquina: 3.35 ×1.05 × 0.70 [m]	Este equipo será utilizado para mantener temperatura de refrigeración en el aire de almacenamiento de materia prima, para evitar que esta se dañe.
			Potencia del motor: 4.8 [kW].	
			Flujo de aire: 36,000[m3/h]	
			Numero de ventiladores: 3 [unid].	
			Descongelamiento eléctrico: 24.3[kW]	
			Voltaje: 220-240[Volt].	

Fuente: Elaboración propia

5.4.4. Requerimiento de materiales, mobiliarios y reactivos

5.4.4.1. Materiales de producción

Se muestra en la Tabla 21 los materiales utilizados en la zona de producción y equipo de protección personal para los operarios.

Tabla 21. *Materiales de producción*

Cantidad	Materiales
50	Cubetas de plástico capacidad 5 galones
100	Guantes de látex*
100	Redecillas de cabello*
100	Cubre bocas*
10	Botas de hule
1	Tanque de plástico Plastitank 500 litros

Fuente: Elaboración propia

*Corresponde a los materiales de consumo semanal.

5.4.4.2. Materiales, equipos y reactivos de Control de calidad

Se muestra en la tabla 22 los equipos, materiales e insumos requeridos para el área de control de calidad.

Tabla 22. *Equipos de control de calidad*

Cantidad	Equipos
2	Balanza analítica 210 gr
1	Espectrofotómetro
1	pH metro
1	Balanza de humedad
1	Baño María
1	Campana de seguridad
1	Refractómetro 0-18 Brix
3	Termómetros digitales
1	Mini refrigeradora
1	Rotatubos
1	Mufla
1	Centrifuga

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. *Materiales de control de calidad*

Cantidad	Materiales
10	Beaker 250 mL
5	Beaker 500 mL
10	Erlenmeyer 250 mL
5	Erlenmeyer 500 mL
1	Pipeta graduada de 10 mL clase B
1	Pipeta graduada de 5 mL clase B
2	Soporte universal
3	Bureta de 50 mL tolerancia 0.05 mL
2	Gradillas para tubos de ensayo con capacidad de 24 tubos
3	Pinza de metal
48	Tubos de ensayo 13x 100 mm
4	Pizeta
1	Imán teflonado cilíndrico 30x8 mm
4	Espátulas de acero inox. plana
14	Gabacha
100	Rejillas de cabello
100	Guantes de látex
3	Anteojos protectores
2	Cintas de test cloro libre, cloro total

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. *Reactivos de control de calidad*

Cantidad	Presentación	Reactivos
2	500 gr	Hidróxido de Sodio
1	100 gr	Sulfato Cúprico Hidratado
1	200 gr	Tartrato de Sodio
1	200 gr	Tartrato de Potasio
1	100 gr	Yoduro de Potasio
1	400 mL	Albumina Sérica Bovina
1	500 gr	Gelatina mikrobiologie
1	250 gr	Cloruro de sodio
3	250 mL	Ácido acético glacial
1	500 mL	Ácido clorhídrico
1	500 mL	Formaldehido
1	200 mL	Peróxido de hidrógeno
4	1 galón	Agua destilada
1	1 galón	Alcohol etílico

Fuente: Elaboración propia

*Corresponde a los reactivos para Control de calidad donde se incluye el método de Biuret para la determinación de concentración de proteínas.

5.4.4.3. Materiales, equipos y mobiliario

La planta consta de 4 áreas: administración, producción y dos almacenes, uno para el resguardo de materia prima e insumos y el otro para el almacenamiento del producto terminado, las cuales están acondicionadas con sus respectivos equipos, materiales, mobiliario para un funcionamiento adecuado que asegure las condiciones de higiene, confort y ergonomía de los colaboradores y visitas.

Tabla 25. *Equipos de oficina*

Equipos de oficina	
Cantidad	Equipos
2	Computadoras de escritorio
2	Computadoras laptop
1	Impresora laser
1	Cafetera
1	Aire acondicionado
1	Oasis de agua frío/caliente
3	Extintores
1	Proyector digital

Fuente: Elaboración propia.

El control de documentación de la planta requiere de materiales de oficina indispensables para el registro de la información en la Tabla 26 se enlistan la cantidad de materiales de oficina consumibles se determinaron considerando el consumo correspondiente a un mes de trabajo, también se detallan materiales no consumibles cuya vida útil depende del uso y cuidado de los mismos.

Tabla 26. *Materiales de oficina*

Materiales de oficina	
Cantidad	Materiales
2	Resma de papel tamaño carta
2	Pizarra acrílica
2	Engrapadora
2	Perforadora
1	Caja de Folder (100 Und)
1	Caja de grapas (100 Und)
1	Caja de marcadores (6 Und)
1	Caja de lapiceros (12 Und)
3	Sellador
3	Ordebook
1	Caja de fasteners (100 und)
3	Sellos
3	Almohadillas para sello
1	Tintero azul

Fuente: Elaboración propia.

La limpieza de la planta es una parte fundamental para el cumplimiento de las buenas prácticas higiénicas y aseguramiento de la calidad del producto final y para ello se requiere de los siguientes materiales de limpieza:

Tabla 27. *Materiales de limpieza*

Materiales de limpieza	
Cantidad	Materiales
4	Escobas
2	Escurridores
3	Palas plásticas planas
3	Mechas de lampazos
3	Palos de lampazos
5	Cestos de basura
2	Dispensadores de jabón
2	Porta servilletas
1	Cepillo mango largo
1	Cepillo de uñas

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 28 se detalla el mobiliario que requiere la planta:

Tabla 28. *Mobiliario de la planta*

Mobiliario	
Cantidad	Materiales
3	Escritorios
3	Sillas de oficina ejecutivas
2	Sillas de espera
1	Locker de 10 compartimientos
2	Lavamanos

1	Ducha
1	Lavajojos
2	Archivadores
1	Mesa plástica
6	Sillas plásticas
1	Pantry
2	Banco de laboratorio

Fuente: Elaboración propia.

5.4.5. Requerimiento de materia prima, insumos y servicios

La empresa Burke Agro, S.A genera la materia prima requerida para la producción de Bromelina por lo que se realizarán solamente pedidos de los insumos necesarios dentro de los que abarca: Solvente de extracción (acetona) cuyo pedido se realizará mensualmente y material de empaque (frascos, cajas) cada 3 meses. La Tabla 29 muestra el requerimiento de materia prima en insumos y la Tabla 30 el requerimiento de material de empaque mensualmente y anualmente.

5.4.5.1. Materia prima y material de empaque

Tabla 29. *Materia prima e insumos*

Materia prima o insumo	Cantidad(kg/sem)	Cantidad(kg/año)
Desechos de piña (cascara y corazón)	767	39,884
Acetona 100% *	454	23,608

Fuente: Elaboración propia. *Corresponde al consumo de Acetona en Lt/sem.

Tabla 30. *Material de empaque*

Material de empaque	Cantidad(unid/sem)	Cantidad(unid/año)
Frascos de PET 100 g	505	26,260
Cajas de cartón de 1.2 kg	42	2,184

Fuente: Elaboración propia.

5.4.5.2. Consumo de agua

El consumo de agua del proceso de producción de Bromelina se calculó tomando en cuenta aspectos como el agua de consumo del personal, agua de consumo en sanitarios (lavabo e inodoro) y agua para las operaciones de limpieza y producción.

Según (MFMER, 2020), Fundación de nutrición y salud médica, el consumo promedio de agua potable al día es de 2 L por persona.

El consumo promedio de agua para lavabos e inodoro se calculó tomando en cuenta el dato proporcionado por (SINSA, 2020), donde detalla que el uso normal de lavabo por persona es de 4 veces por día con un consumo de 3.5 L y el consumo de agua del inodoro por persona en un promedio de 3 veces por día es de 14.4 L.

Por su parte (Monge, M. 2018), afirma que el consumo de agua para las industrias representa el 3% para actividades de limpieza general.

Tabla 31. *Consumo de agua (m³/día)*

Área	m ³ /día
Tanque de solvente	0.13
Agua de consumo	0.05
Lavamanos-baños	0.07
Lavamanos-Sanitización	0.14
Baños producción	0.33
Limpieza general	0.16

Fuente: Elaboración propia.

5.4.5.3. Consumo de energía

En la Tabla 32, se detalla el consumo de energía de los equipos principales y auxiliares para la producción de Bromelina.

Tabla 32. *Consumo de energía (kw/h)*

Equipo	Cantidad	Kw/h
Elevador y Triturador de frutas ZRC-500	1	4
Filtro prensa FPA-47	1	3
Centrífuga	1	7
Mezclador KQ-1000	1	0.37
Tanque de refrigeración CF-100	1	3
Secador HG-1	1	9
Bomba centrífuga	4	1.48
Dosificadora de polvos	1	0.16

Destilador	1	1.6
Unidades de refrigeración	2	48.6

Fuente: Elaboración propia.

5.4.5.4. Suministro de Combustible y lubricantes

El consumo de combustible necesario para la producción de Bromelina abarca la etapa de distribución del producto terminado hacia los puntos de venta o consumidores por lo que dependerá de la distancia a recorrer. No se requiere de combustible para el transporte de materia prima ni para el funcionamiento de los equipos ya que todos son eléctricos.

El requerimiento de lubricantes será necesario para el mantenimiento de los equipos dentro de la planta, por lo que dependerá de la frecuencia con que se efectuará esta función. Debido a que dicha operación será realizada una vez por año el requerimiento será anual.

5.4.5.5. Otros servicios auxiliares

Se requiere de suministro de aire para la etapa de envase y etiquetado cuyo consumo es de 0.2 m³/min. La etapa de envase y etiquetado tiene una duración de 20 min aproximadamente por lo que el consumo por día es de 4 m³ de aire.

Las unidades de refrigeración en el área de almacenamiento de producto terminado requieren de refrigerante R-507. Sin embargo, estas solamente requieren de reemplazo en caso de fuga o por mantenimiento anual.

5.4.6. Infraestructura y distribución de planta

La planta se distribuirá en las siguientes áreas:

- a) Recepción de materia
- b) Almacén de materia prima
- c) Sala de sanitización
- d) Área de producción
- e) Empaque y etiquetado
- f) Almacén de producto terminado
- g) Oficinas
- h) Baños
- i) Bodega de insumos

A continuación, se detalla el objeto de cada una de las áreas enlistadas:

- a) Recepción de materia prima: En esta zona se recibe toda la materia prima (residuos de piña) proveniente del procesamiento de la fruta, debe estar equipada con un instrumento de pesaje para verificar los pesos del material y así proceder con la entrada al almacén.

- b) Almacén de materia prima: En esta área se almacenará toda la materia, debe estar debidamente acondicionada con un sistema de refrigeración para retrasar el proceso de descomposición del material.
- c) Sala de sanitización: Zona destinada para el proceso de limpieza y sanitización del personal como parte del cumplimiento de las buenas prácticas higiénicas, consta de un pediluvio para la sanitización del calzado y dos lavados para las actividades de lavado de manos y cepillado de uñas.
- d) Área de producción: Es el área donde se llevan a cabo todas las operaciones unitarias para la transformación de la materia prima hasta la obtención de la bromelina como producto terminado, en ella se encuentra toda la maquinaria necesaria la ejecución de las operaciones y se debe velar estrictamente el cumplimiento de las buenas prácticas de manufacturas para garantizar la calidad del producto.
- e) Empaque y etiquetado: En esta área se realiza el empaque y etiquetado del producto final, cuenta con un equipo dosificador para garantizar el rango de llenado de los recipientes que contienen el producto final listo para comercialización.
- f) Almacén de producto terminado: Es el área donde se almacenará todo el producto terminado, para su posterior distribución, su infraestructura y ordenamiento debe garantizar buenas condiciones para el almacenamiento del producto.
- g) Oficinas: En esta área ocuparan sus lugares el personal administrativo a cargo de las gestiones de administración, compras y ventas de la planta.
- h) Baños: En esta sección se ubicarán los baños equipados con los elementos necesarios para el uso del personal de la planta, serán ubicados estratégicamente para el uso común de todas las áreas.
- i) Bodega de insumos: En esta zona se resguardarán los insumos, materiales y accesorios necesarios para múltiples actividades de la planta (material de empaque, materiales de limpieza y materiales de reposición periódica) todos debidamente ordenados y rotulados para el buen uso de los recursos.

Para determinar la proximidad entre las áreas se construyó la matriz SLP:

5.4.6.1. Matriz SLP

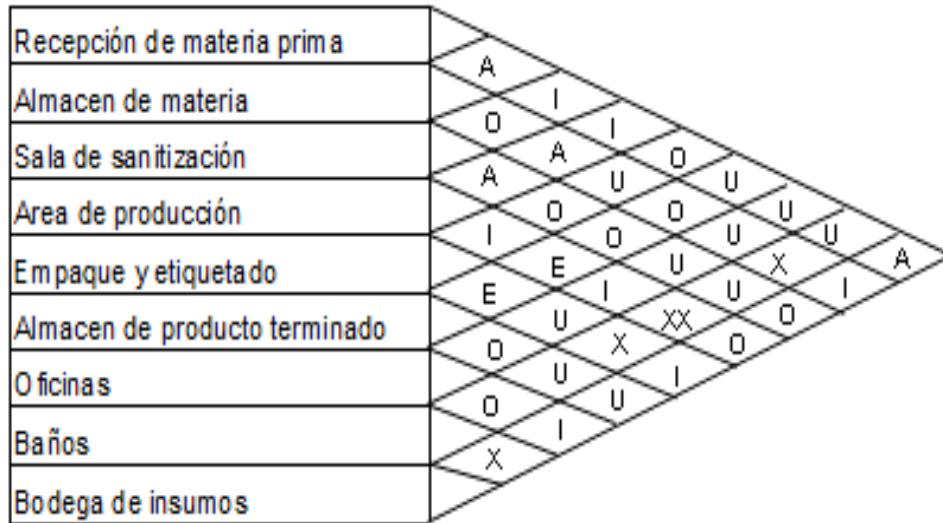


Figura 9. Matriz SLP (diagrama de correlación). Elaboración propia

En la Tabla 33 se detalla la simbología utilizada para la construcción de la matriz y su significado:

Tabla 33. Simbología utilizada para la matriz SLP

Letra	Orden de proximidad
A	Absolutamente necesaria
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinaria o normal
U	Sin importancia
X	Indeseable
XX	Muy indeseable

Fuente: Elaboración propia basado en (Urbina, 2010)

5.4.6.2. Diagrama de hilos

Para complementar la matriz SLP, se realizó el diagrama de hilos:

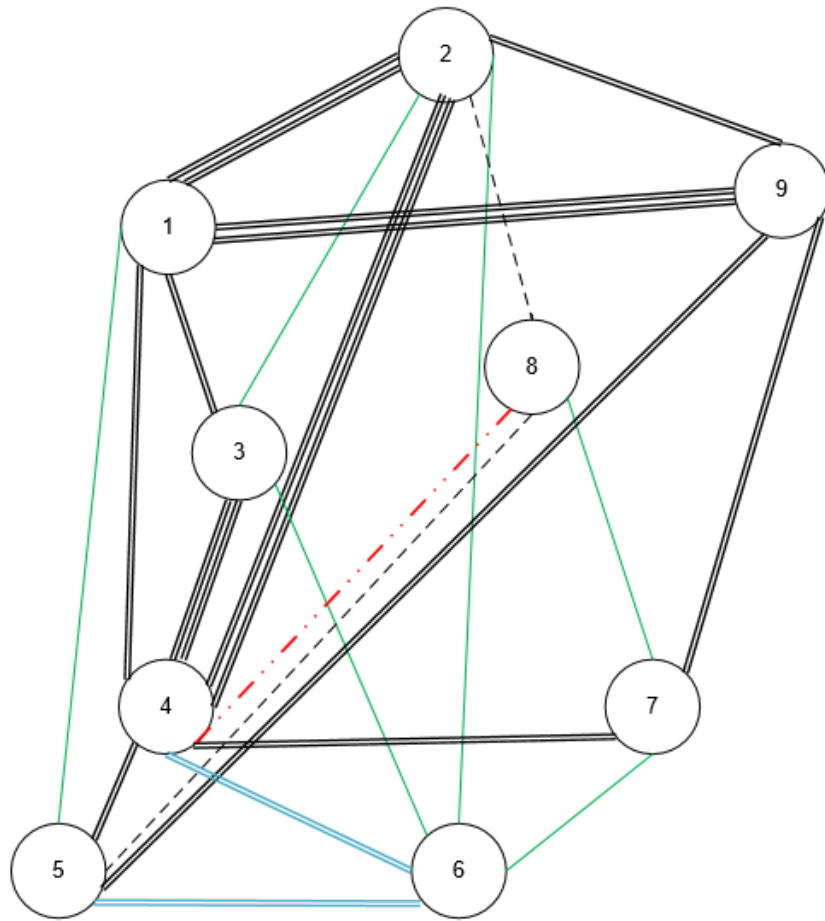


Figura 10. Diagrama de hilos. Elaboración propia.

Tabla 34. Simbología utilizada para el diagrama de hilos

Letra	Línea	Número asignado	Area
A	≡	1	Recepción de materia prima
E	≡	2	Almacen de materia
I	≡	3	Sala de sanitización
O	≡	4	Area de producción
U	—	5	Empaque y etiquetado
X	- - - -	6	Almacen de producto terminado
XX	- . . -	7	Oficinas
		8	Baños
		9	Bodega de insumos

Fuente: Elaboración propia basado en (Urbina, 2010)

5.4.6.3. Plano general maestro

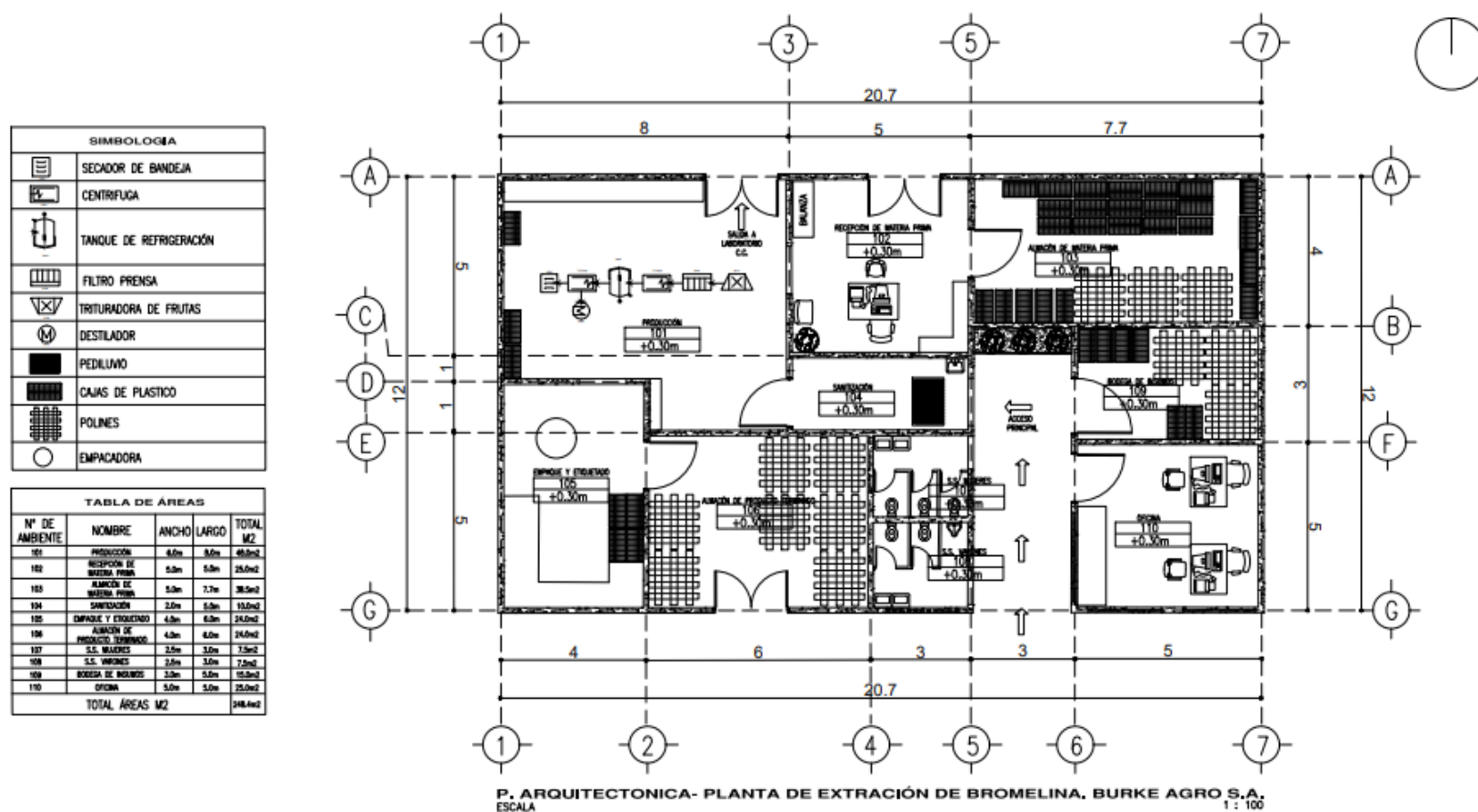


Figura 11. Plano general maestro. (Escala 1:100). Elaboración propia.

5.4.6.4. Plano de integración de Proceso de Bromelina a planta BASA

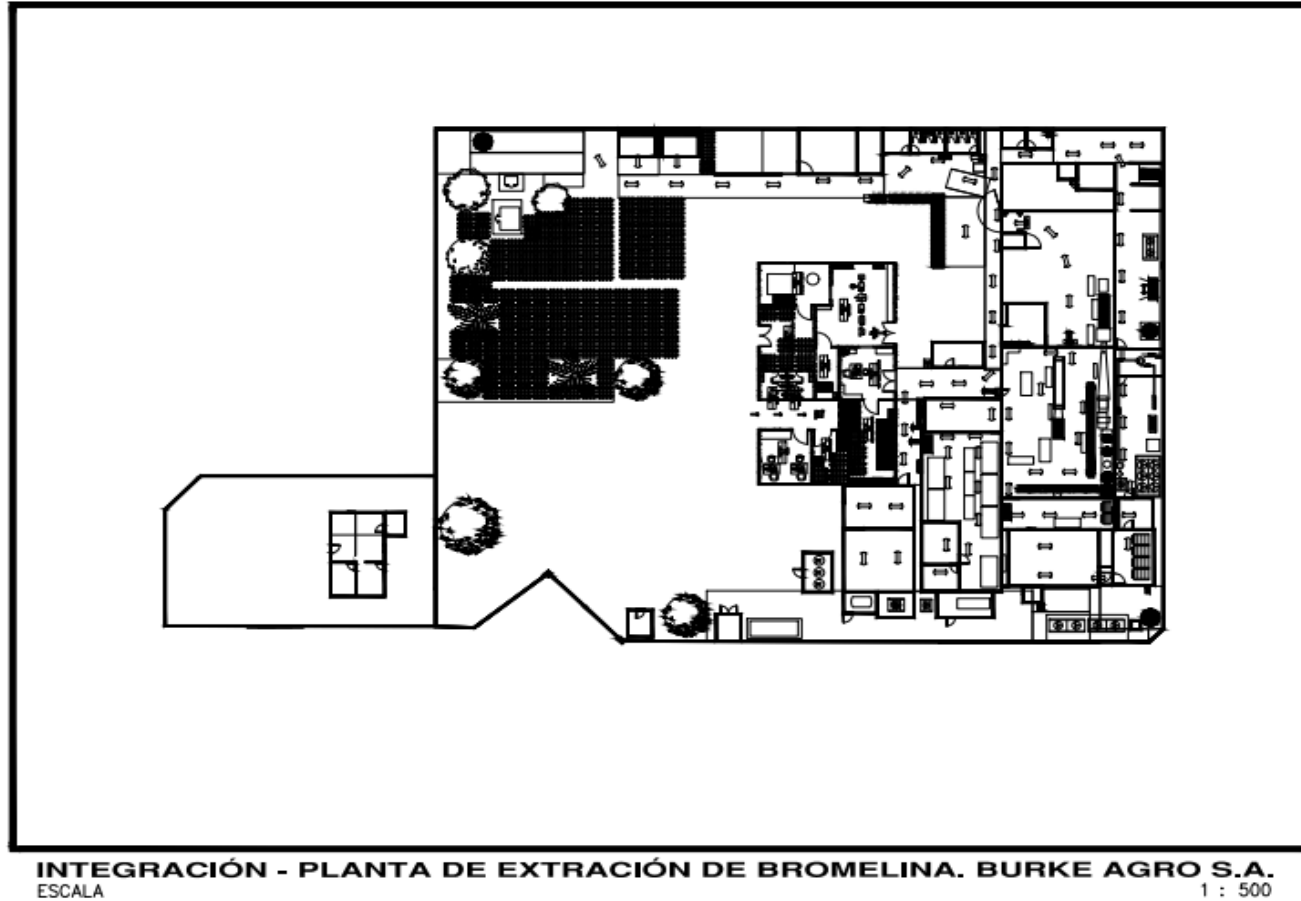


Figura 12. Plano integración de proceso de Bromelina a planta BASA. (Escala 1:500). Elaboración propia.

5.4.7. Obras civiles

Las obras civiles tendrán lugar en el área seleccionada en el apartado de micro localización, teniendo disponible un área libre de 248.4 metros cuadrados de terreno plano, contiguo al área de producción, previo al inicio de la obra se considera necesario únicamente la nivelación del terreno donde se construirá las nuevas instalaciones.

De los 248.4 metros cuadrados de terreno se construirá sobre un total de 232.5 metros cuadrados, a continuación, se detalla el área total en metros cuadrados que ocupa cada una de las áreas que conforman la planta y la descripción de las obras civiles requeridas:

Tabla 35. *Requerimiento de Obras civiles por área*

Nombre de área	Descripción	Área total (m ²)
Oficinas	Pared de concreto con acabado fino, piso cerámico y techado con cielo falso, esta constará con separaciones en forma de cubículos ya que será un área de uso múltiple para el personal administrativo.	20
Bodega de insumos	Pared de concreto, piso de concreto rustico, techado con cielo falso.	16
Almacén de materia prima	Pared de concreto, piso epóxico, techado con cielo falso.	38.5
Recepción de materia prima	Pared de concreto con acabado fino, piso epóxico, techado con cielo falso	25
Sala de sanitización	Pared de concreto, piso de concreto (con pediluvio), techado con cielo falso.	10
Baños	Pared de concreto acabado con azulejos, piso cerámico, techado con cielo falso.	15
Área de producción	Pared de concreto, piso epoxico, techado con zinc acondicionado con un sistema de tragaluces para la iluminación natural del área y extractores de aires para la ventilación.	48
Empaque y etiquetado	Pared de concreto, piso epoxico, techado con cielo falso.	24

Almacén de producto terminado	Pared de concreto, piso epoxico, techado con cielo falso	36
Total		232.5

Fuente: Elaboración propia.

5.4.8. Requisitos organizacionales

En este acápite de determinará el talento humano necesario para la ejecución del proyecto, segmentándose este como una nueva línea de producción para la empresa y considerando que cargos como gerencia general, recursos humanos y compras serán ejercidos por el personal ya existente en la planta, en vista del aprovechamiento de los recursos.

5.4.8.1. Recursos humanos

En la Tabla 36 se especifica el personal necesario, determinándose el área al que pertenece, la cantidad, el cargo, nivel académico y si es nuevo recluta o personal antiguo.

Tabla 36. *Requerimiento de personal*

Área	Cargo	Cantidad	Nivel académico	Status
Administración	Gerente General	1	Msc en Ciencias Económicas	Personal antiguo
	Asistente de gerencia	1	Licenciado en administrador de empresa	Personal antiguo
	Contador general	1	Licenciado en banca y finanzas	Personal antiguo
	Responsable de recursos humanos	1	Ingeniero industrial	Personal antiguo
	Guarda de seguridad	2	Bachiller	Personal antiguo
Ventas	Gerente de ventas	1	Ingeniero industrial/ Licenciado en administración	Personal antiguo

	Gestor de ventas	1	Ingeniero en alimentos	Nuevo recluta
Logística y suministros	Responsable de compras	1	Ingeniero industrial/ Licenciado en administración	Nuevo recluta
	Responsable de almacén	1	Ingeniero industrial	Nuevo recluta
	Operario de almacén	1	Bachiller	Nuevo recluta
Producción	Supervisor general de producción	1	Ingeniero químico	Nuevo recluta
	Asistente de producción	1	Técnico en tecnología de los alimentos	Nuevo recluta
	Operario de producción	8	Bachiller	Personal antiguo
	Analista de calidad	1	Ingeniero químico	Nuevo recluta
Mantenimiento	Responsable de mantenimiento	1	Ingeniero mecánico	Personal antiguo

Fuente: Elaboración propia.

5.4.8.2. Descripción de las funciones de cada cargo

Gerente general: Liderar las estrategias de la compañía, coordinando a todas las áreas para asegurar la rentabilidad, competitividad, continuidad y sustentabilidad de la empresa.

Asistente de gerencia: Realiza la estructuración de agenda, informes de reuniones, programación de actividades de la semana y cualquier actividad de apoyo de área que le solicite el gerente general.

Contador general: Controla los registros contables de la empresa, el pago de impuestos, el control de las ganancias y gestiones de carácter contable.

Responsable de recursos humanos: Coordina las actividades vinculadas al movimiento de todo el personal desde su reclutamiento, selección, capacitación, suspensión de contrato, promoción, además responde por el

cumplimiento de las medidas de higiene y seguridad que deben cumplirse por ambas partes.

Guarda de seguridad: Regula el acceso de personal a la planta, los visitantes, proveedores, etc. y vigilará las zonas perimetrales de la empresa.

Gerente de ventas: Se encarga de la elaboración de planes y metas de ventas, prospecta clientes, coordina al personal bajo su cargo, asignando carteras de clientes y dando seguimiento al cumplimiento de las metas de ventas trazadas.

Gestor de ventas: Asegurar el seguimiento de los clientes (nuevos y fijos), cumple con un plan de visitas a clientes, genera cotizaciones y responde por el cumplimiento de las metas de ventas.

Responsable de compras: Realizar las gestiones de compras de materias primas, insumos, equipos, servicios y demás suministros, atiende proveedores y realiza negociaciones que optimicen los recursos efectivos de la compañía

Responsable de almacén: Coordinar las actividades competentes con las áreas de almacén de materia prima y producto terminado, atiende los movimientos de productos, controla el inventario y elabora horarios y rutas de recepción y despacho.

Operario de almacén: Asegurar el ordenamiento de los almacenes de producto terminado y materias primas, realizar las actividades de traslado de productos y cumplir los protocolos de higiene y seguridad.

Supervisor de producción: Coordinar todas las actividades del departamento de producción, asegurándose del cumplimiento de las buenas prácticas higiénicas y buenas prácticas de manufactura de todo el personal, velar que el proceso productivo se está llevando en tiempo y forma con los debidos estándares de calidad y seguridad.

Asistente de producción: Apoyar al supervisor de producción en las actividades vinculadas al proceso, manejo de personal, recepción de materiales e insumos, supervisión en piso del personal operativo y demás actividades que este indique.

Operario de producción: Cumplir con las actividades indicadas por el supervisor y/o auxiliar de producción, durante todo el proceso producción desde la recepción de materia prima hasta el empaque de producto terminado, así como asegurarse del cumplimiento de la limpieza de áreas pre y post operaciones.

Analista de calidad: Realizar ensayos de control de calidad a la materia prima y productos terminados para verificar que estos se encuentren dentro de los parámetros de calidad declarados como conformes.

Responsable de mantenimiento: Realizar mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos en coordinación con el supervisor de producción, asegurándose del funcionamiento efectivo de estos, para disminuir los paros y retrasos en el proceso.

8.9.1.2. Organigrama de operación:

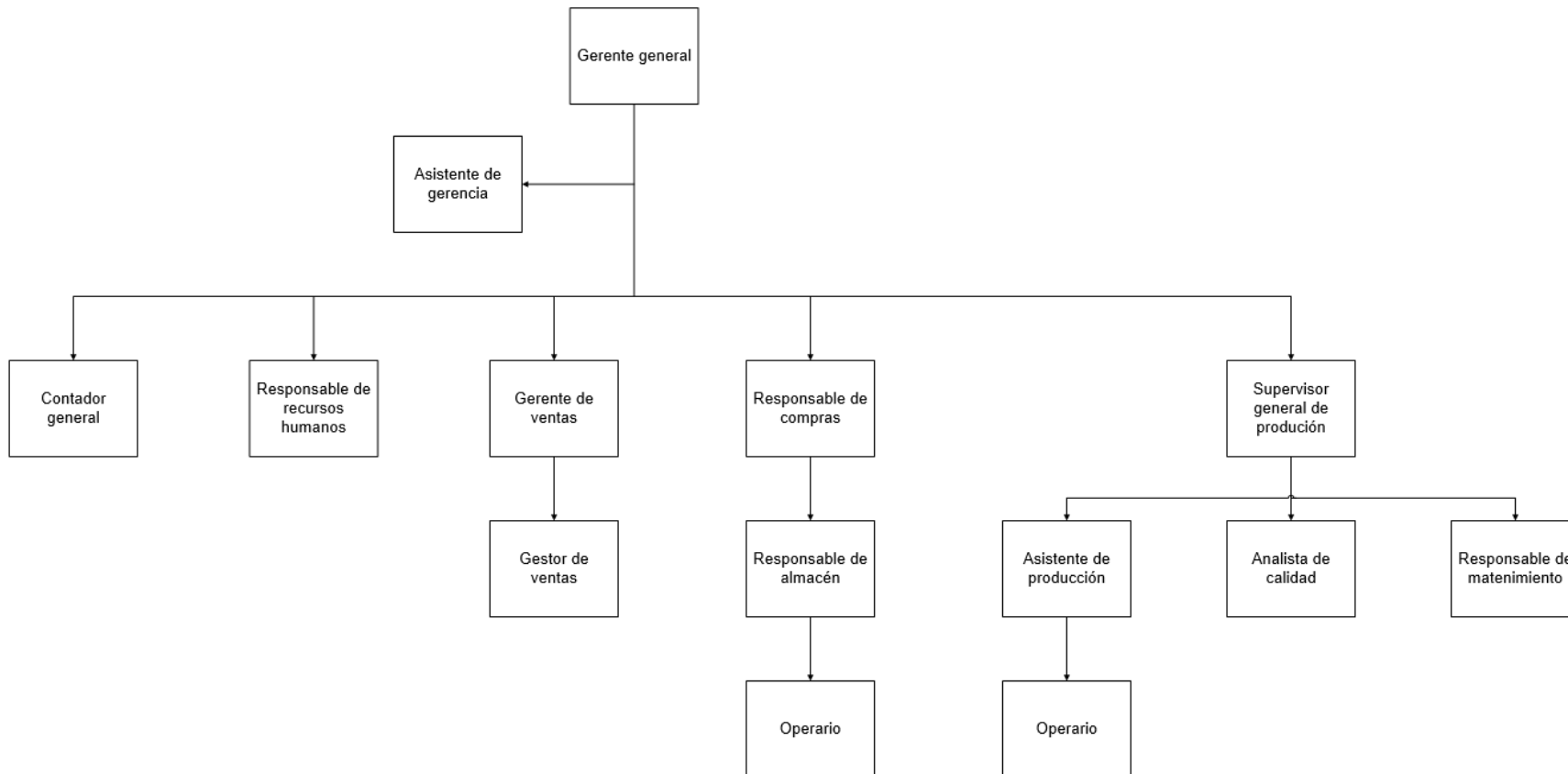


Figura 13. Organigrama de operación. Elaboración propia.

VI. CONCLUSIONES

El potencial de rendimiento de los residuos de piña (cascara y corazón) variedad Montelirio mediante es de 50.33 g de bromelina / 1 kg de residuos de piña resultando un porcentaje final de rendimiento del 5.1%.

La actividad proteolítica de la bromelina extraída: 1859 GDU/g y la actividad proteolítica de la bromelina comercial: 2674 GDU/g, (Salcedo, N. & Magallanes, J. 2013) determinó que la actividad proteolítica de Bromelina comercial varia en un rango de 1700-2500 GDU/g.

La concentración de proteína de la bromelina extraída es de: 3.5% y la concentración de proteína de bromelina comercial es de: 4.8%, lo cual evidencia una diferencia del 25.7% siendo un valor ligeramente aceptable.

Se realizó un estudio técnico para la integración del proceso de extracción de bromelina en las instalaciones existente de la planta BURKE AGRO S.A con un potencial de producción del 2,573.46 Kg anualmente, considerando cada uno de sus requisitos técnicos, organizacionales y de operación.

Se propuso a nivel tecnológico el proceso de obtención de Bromelina a partir de residuos agroindustriales de piña en la planta BURKE AGRO, S.A, siendo esta una alternativa prometedora para mejora el manejo de los residuos y obtener un producto con calidad comercial, además de explorar un campo nuevo en la industria nacional.

VII. RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores se recomienda:

1. Realizar el proceso de purificación de la Bromelina para incrementar los valores de pureza con las que se obtiene el producto final.
2. Considerar el método de Biuret para la cuantificación de proteínas ya que requiere compuestos y reactivos menos residuales que el método aplicado (Kjeldahl), como una alternativa más amigable con el medio ambiente.
3. Estudiar el aprovechamiento de los desechos sólidos del proceso (bagazo de residuos de piña) para optimizar los procesos de la planta y obtener una producción más limpia.
4. Experimentar con los residuos de piña de otras variedades que se cultiven en Nicaragua para conocer el contenido enzimático.
5. Realizar un estudio financiero de la propuesta tecnológica para estimar la rentabilidad del proyecto.
6. Considerar otros solventes como (propanol y etanol) para la etapa de extracción de Bromelina.
7. Validar el método de obtención de Bromelina mediante un análisis de varianza o un diseño experimental

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Alonso, A., Gallardo, L., Sánchez, A., Montalvo, C. (2008). *Extracción de Bromelina a partir de residuos de piña*. Universidad politécnica de Puebla, Programa Académico en Ingeniería en Biotecnología, Puebla, México.

Balasundaram, B., Harrison, S., Bracewell, D. (2009). *Advances in product release strategies and impact on bioprocess design*. Trends in Biotechnology, 27 (8), 477-485.

Bolaños, N., Lutz, G., Herrera, C. (2003). *Química de los alimentos: Manual de laboratorio. Primera edición*. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Pags.36, 37.

Carrera J. (2003), *Producción y aplicación de enzimas industriales*. Recuperado el 12, Marzo, 2018, de: https://www.academia.edu/6125354/PRODUCCI%C3%93N_Y_APLICACI%C3%93N_DE_ENZIMAS_INDUSTRIALES_PRODUCTION_AND_APPLICATION_OF_INDUSTRIAL_ENZYMES_JORGE_ELI%C3%89CER_CARRERA_1_PA_LABRAS_CLAVE_RESUMEN

Carro Paz, R., & González Gómez, D. (s.f.). *Diseño y selección de procesos*. Buenos Aires: Universidad Nacional del Mar del Plata.

Choi, Y. and Okos, M.R., (1986). "Effects of temperature and composition on thermal properties of foods," Journal of Food Process and Applications, Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/165958857/Effects-of-Temperature-and-Composition-on-the-Thermal-Properties-of-Foods>. 1(1). 93-101. 1986.

Clavijo, D., Portilla, M., Quijano, A. (2011). *Cinética y extracción de la Bromelina obtenida a partir de la piña (Ananás comosus) proveniente de Lebrija-Santander*. Revista Limentech Ciencia y tecnología alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 10, No. 1, p. 28-37. Universidad de Pamplona, Colombia.

Crosgrove, D. (2000). *Expansive growth of plant cell walls*, 38 (2) 109-124. Recuperado el 03, Abril, 2018, de: [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(00\)00164-9](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(00)00164-9)

CUVSI. (2014). *Identificación de proteínas, practica*. Recuperado el 17, Marzo, 2018, de: <https://www.cuvsi.com/2015/02/identificacion-de-proteinas-practica.html>

De Lencastre, L., De Carvalho, V., Faustino, A. (2015). *Stability purification, and applications of bromelain: a review*. Bioseparations and Downstream Processing, 321(1), 1-34.

Dekavate, R., Patil, V., Waje, S., Thorat, B. (2009). *Purification and drying of Bromelain*. Separation and Purification Technology, 64(3), 259-264.

Enzyme Development Corporation, Proteases: *Bromelain*. (s.f). Recuperado el 12 Abril, 2018, de: <http://www.enzymedevelopment.com/es/assays/bromelain/>

Extracción y cuantificación de proteínas, (s.f). Recuperado el 04, Abril, 2018, de: <https://ibcmunq.files.wordpress.com/2010/03/tp2.pdf>

(FAO, 2006). *Manual de técnicas de determinación de Concentración de Proteínas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado el 25 de Abril del 2018 de: <http://www.fao.org/3/ab489s/AB489S03.htm>

García, A. & López, A. (2012). *Biopolímeros utilizados en la encapsulación 6 (1)*. 84-97. Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental. Puebla, México.

García, E., Fernández, I. (2008). *Determinación de proteínas de alimentos por el método de Kjeldahl*. Departamento de tecnología de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 28 de Marzo del 2018, de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16338/Determinaci%C3%B3n%20de%20proteinas.pdf>

González J., Vázquez J. y Mejía C. (2017), *Responsabilidad social, empresarial- decisiones, reflexiones y casos de estudio pp. 115-152*.

Hernández, M., Carvajal, C., Márquez, M., Báez, R., Morris, H., Santos, R., Chávez, M. (1987). *Obtención de Preparados Enzimáticos a Partir de Tallos de Piña (Ananás Comosus) con potencialidades de uso en la Biotecnología y la Medicina*. Revista CENIC. Ciencias Biológicas, vol. 36. Ciudad de La Habana, Cuba.

Hulme, A. (1971). *The Biochemistry of Fruits and their Products*, Volumen II.

ILPES. (1974). *Guía para la presentación de proyectos*. México.

López, A., Díaz, V., Cáceres, M. (1996). *La Bromelina una proteasa de interés comercial*. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología. ISSN 1696-2443. Vol 1. pp. 17-22. México.

Macaruya, J., Marino, A. Macaruya, A. (2002). *Bioquímica cuantitativa: Cuestiones sobre metabolismo*, Volumen II, Reverté S.A., España, Pág. 288. [En línea].

MFMER (2020). *El consumo diario de agua potable*. Fundación de nutrición y salud médica. Recuperado el 08 de Octubre de: <https://www.mayoclinic.org/es-es/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/water/art-20044256>

Mongue, M. (2018). *Agua de uso industrial*. Recuperado el 09 de Octubre del 2020 de: <https://www.iaqua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/agua-nuestros-banos>

Molina J. y Bello A., (2011), *Estrategia de comercialización de piña (Ananas sativus schult) y pitahaya (Hylocereus undatus haw) y sus derivados: vinos, mermeladas, para la Cooperativa Agroindustrial de Productores de San Ignacio (COAPROSI), en la Concepción, Masaya*, Recuperado el 11, Marzo, 2018, de: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://repositorio.una.edu.ni/834/1/tne70e82.pdf>

Muller, P. (1990). *Tecnologías de América del Norte para el Procesamiento de Alimentos*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Venezuela, Pág. 82-87.

Munturi B., Nurul I., Maizirwan M., Mohamed S., Hamzah M. Azura A. , (2012) *Bromelain Production: Current Trends and Perspective*, Archives des Sciences Pág. 371 Vol. 65.

OMS y OPS, Organización Mundial de la salud y Organización Panamericana de la salud, (1997). *Análisis sectorial de residuos sólidos en Nicaragua, serie de estudios No 12*, Recuperado el 14, Marzo, 2018 de: <http://www.bvsde.paho.org/es/www/fulltext/analisis/nicarag/nicara.html>

Peña, R. S. (2008). *Ingenieríaquímica.net*. Recuperado el 16 Marzo 2018 de: <https://www.ingenieriaguimica.net/foro/4-apuntes-trabajos-practicasexamenes/12246-informacion-para-procesos-continuos-y-discontinuos-encond-estado-estacionarios-y-no-estacionarios>

Pinto, C. (2007). *Determinación Cuantitativa de Proteínas*. Universidad Nacional de la Plata, Buenos Aires, Argentina. Recuperado el 03, Abril, 2018, de: <http://www.quimica.unlp.edu.ar/>

Polaina J. y McCabe A., *Industrial Enzymes: Structure, Function and Applications*, Springer, Netherlands, 2007, Pág. 184-185.

Project Management. (2016). Obtenido de <https://www.obs-edu.com/int/blogproject-management/planificacion-de-las-actividades-y-tiempo-de-unproyecto/herramientas-para-elaborar-el-cronograma-de-actividades-de-unproyecto>

Rose S. E. (2006) *El cultivo de piña en el municipio de Ticuantepe: Situación actual y perspectivas*, Revista Encuentro Pág. 69-79, Recuperado el 13, Marzo, 2018 de: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/UCARRevistaEncuentro74.pdf>

Salcedo, N. & Magallanes, J. (2013). *Extracción, Caracterización y Secado por Aspersión de Bromelina Cruda Obtenida a Partir de Residuos de Piña "Perolera" (Anana Comosus)*. Tesis de grado publicada, Escuela superior politécnica del litoral, Guayaquil, Ecuador.

SINNAPS. (2018). Obtenido de <https://www.sinnaps.com/blog-gestionproyectos/plan-de-actividades>

SINSA (2020). *Tendencia de baños y lavabos*. Recuperado el 18 de Octubre del 2020 de: <https://sinsa.com.ni/blog/las-tendencias-para-banos/>

Urbina, G. B. (2010). *Evaluación de proyectos*. Distrito Federal: McGraw Hill.

Vega, K. (2017) *Extracción de Bromelina obtenida a partir de residuos del procesamiento de piña*. Tesis de grado publicado, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Villegas, O., Vargas, F., Pérez, J., García, R., Porras, S., Meneses, D., Quesada, A., Delgado, G., Alpizar, D., Mora, B., León, R., Alfaro, D. (2007), *Caracterización y plan de acción para el desarrollo de la agrocadena de Piña en la región Huetar Norte* Pág. 25-26.

Viltharao, R. (2007). *Crystallization and Dryn studies of Biomaterials*. Master of technology Degree in Bioprocess Technology, Institute of Chemical Technology, University of Mumbai-India.

Wrolstald, R., Acred, T., Penner, M., Reed, D. (2005). *Handbook of Food Analytical Chemistry, Water, Protein, Enzymes, Lipids and Carbohydrates*. Editorial Wiley & Sons, Inc. pp 86-89.

IX. APENDICES:

9.1. Apéndice A. (Glosario de términos)

AOAC: Association of Official Agricultural Chemists (Asociación de químicos agrícolas oficiales)

Brix: Mide el cociente total de sacarosa disuelta en un líquido

BSA: Albumina de suero bovino

FAO: Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)

GDH: Unidad de digestión de gelatina

HCl: Fórmula molecular del ácido clorhídrico

H_x : Entalpía de sustancia x

HR: Humedad relativa

ISO: International Organization for Standardization (Organización internacional de normalización)

kDa: Unidad de medida del kilodalton

kg: Unidad de medida del kilogramo

kW: Unidad de medida del kilowatio

m: Unidad de medida del metro

mL: Unidad de medida del Mililitro

NaCl: Fórmula molecular del Cloruro de sodio

NaOH: Fórmula molecular del Hidróxido de sodio

pH: Potencial de hidrogeno

rpm: Revoluciones por minuto

SH: grupo sulfhidrilo

SLP: Systematic Layout Planning (Planificación sistemática del diseño)

T: Temperatura

X_x : Fracción másica de sustancia x

9.2. Apendice B (de los metodos de determinacion de Calidad de la Bromelina)

9.2.1 Método analítico para la unidad de digestión de la gelatina (GDU)

Preparación de reactivos:

1. Agua destilada: aproximadamente 500 ml. Ajuste el pH a 4.5 con HCl 0.1 N

2. Sustrato de gelatina:

2.1 Disuelva 25 gramos de gelatina (*Mikrobiologie*, 1.04070) en 375 ml de agua caliente, hierva y enfríe a 45° C.

2.2 Ajuste el pH a 4.5 con HCl 0.1 N y diluya a 500 ml en agua destilada.

2.3 Mantenga la gelatina a 45° C.

3. Solución búfer:

3.1 Añada lentamente 15 gramos de NaCl a 40-50 ml de agua en un vaso de precipitado de 150ml y agite hasta disolver.

3.2 Agregue 0.570 ml de ácido acético.

3.3 Ajuste el pH a 4.5 con HCl 0.2N (el volumen será de más de 100ml.)

4. Peróxido de hidrógeno al 3%:

4.1 Transfiera 2.5 ml de peróxido de hidrógeno al 30% (solución madre) a un matraz aforado de 25 ml y diluya con agua destilada a un pH de 4.

5. Formaldehído al 37% pH 9.0:

5.1 Ajuste un volumen suficiente (100 ml) de formaldehído a un pH de 9.0 con NaOH 0.1N (se requieren de aproximadamente 20 ml de formaldehído por muestra antes de ajustar el pH).

6. NaOH 0.100 N (estándar comprado):

6.1 Solución madre estandarizada a 0.100 N.

Procedimiento:

1. Preparación de la enzima:

a. Cálculo de la preparación de la enzima

Peso = $100/\text{actividad blanco}$ (aproximadamente 0.05 g o 50 mg)

b. Pese la enzima y colóquela en un matraz aforado de 50 ml.

c. Añada 8.3 ml de la solución búfer.

d. Deje reposar por 30 minutos a temperatura ambiente.

e. Diluya a 50 ml usando agua destilada con un pH de 4.5, agregue una barra agitadora y agite por 10 o 15 minutos.

2. Procedimiento de la enzima:

a. Tome dos vasos de precipitado de 100 ml (uno para la solución prueba y el otro para el blanco), coloque una barra agitadora y transfiera 25 ml del sustrato de gelatina a cada uno de ellos. Póngalos en un baño de agua a 45° C por 5 minutos. Uno para la solución prueba y el otro para el blanco.

Solución prueba:

1. Añada 1.0 ml de solución de bromelina en el vaso de precipitado designado para la solución prueba, inicie el cronómetro y agite con movimientos circulares.
 2. Después de exactamente 20 minutos de incubación a 45° C, agregue 0.1 ml de peróxido de hidrógeno al 3 % y agite con movimientos circulares.
 3. Incube por 5 minutos adicionales.
 4. Remueva el vaso de precipitado del baño de agua y agitándolo de modo constante inserte el electrodo del potenciómetro.
 5. Registre el pH después de 10 segundos (pH inicial).
 6. Ajuste el pH a 6.0 con NaOH 0.1 N (aproximadamente 2-4 ml).
- Nota:** Tenga cuidado al ajustar el pH a 6.0; al llegar a 5.8 añada pequeñas cantidades muy lentamente ya que en este punto el NaOH incrementa rápidamente este parámetro.
7. Continúe agitando constantemente y agregue 10 ml de formaldehído al 37% pH 9.0.
 8. Registre el pH después de 10 segundos y después de 1 minuto.
 9. Titule a pH 9.0 con NaOH 0.1 N.
 10. Registre el volumen usado en la titulación. Este es el valor de "T".

Solución blanco: La solución blanco deberá correrse junto con la solución de prueba. Para ello inicie la determinación de la solución blanco 12 minutos después de la solución prueba. Esto le dará tiempo de completar el análisis de la solución prueba antes de tener que proceder con el blanco.

1. Añada 0.1 ml de peróxido de hidrógeno al 3 % al vaso de precipitado designado para el blanco y agite haciendo movimientos circulares.

2. Después de exactamente 20 minutos de incubación a 45° C agregue 1.0 ml de solución de bromelina y agite haciendo movimientos circulares.

3. Incube por 5 minutos más.

4. Remueva el vaso de precipitado del baño de agua y agitando constantemente inserte el electrodo del potenciómetro.

5. Registre el pH después de 10 segundos (pH inicial).

6. Ajuste el pH a 6.0 con NaOH 0.1 N (use aproximadamente 2-4 ml). *Vea la nota de arriba.

7. Continúe agitando de modo constante y añada 10 ml de formaldehído al 37 % (pH 9.0).

8. Registre el pH después de 10 segundos y después de 1 minuto.

9. Titule a un pH de 9.0 con NaOH 0.1 N.

10. Registre el volumen de titulación. Este es el valor del blanco "B".

Cálculos:

Definición: Una unidad de digestión de gelatina es la cantidad de enzima que libera 1 mg de nitrógeno amino de una solución estándar de gelatina a pH 4.5 o pH 5.5 (GDU pH 4.5 o pH 5.5) después de 20 minutos de digestión a 45° C./
() ()

$$GDU/g = \frac{(T - B) \times 14 \times N \times 50}{Wt(g)}$$

Dónde:

T = Volumen de titulación de la prueba (ml 0.1 N NaOH)

B = Volumen de titulación del blanco (ml 0.1 N NaOH)

N = Normalidad del NaOH estandarizado (i.e. 0.100)

Wt (g) = Peso inicial de la enzima

9.2.2. Método de Biuret para la determinación de Concentración de proteínas

Para obtener los valores de absorbancia que serán graficados en la recta de calibración frente a los de la concentración de proteína se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se colocan en una gradilla ocho tubos de ensayo que deben de estar limpios y secos.
2. Se numeran del 1 al 8 con un rotulador permanente al agua.
3. Con las micropipetas adecuadas al volumen a medir, se adiciona a cada uno de ellos los volúmenes de la disolución patrón de albúmina de suero bovino (BSA) y de agua destilada que se indican en la siguiente Tabla:

Tubo (nº)	Albúmina Patrón (mL)	Agua (mL)
1	0	2,0
2	0,2	1,8
3	0,4	1,6
4	0,6	1,4
5	0,8	1,2
6	1,0	1,0
7	1,2	0,8
8	1,4	0,6

4. Se agita bien cada uno de los tubos de ensayo con el agitatus.
5. A cada uno de los tubos de ensayo se añaden 3 mL de reactivo de Biuret.
6. Se vuelven a agitar bien con el agitatus cada uno de los tubos de ensayo.

7. Se toma la gradilla con los tubos de ensayo y se introduce en el baño de agua termostatzado a 37°C, dejándose que se desarrolle el color durante 15 min.
8. Se enfrían los tubos de ensayo, introduciendo la gradilla en agua a temperatura ambiente. Un par de minutos es suficiente.
9. Se sacan los tubos del agua a temperatura ambiente y se procede a medir en el espectrofotómetro.
10. Se ajusta el mando de selección de la longitud de onda del espectrofotómetro a 540 nm.
11. Se ajusta el cero de absorbancia con la solución blanco exenta de proteína (tubo 1).
12. Se miden las absorbancias de los tubos. 2 a 8. Siempre que se realicen las medidas desde la solución menos concentrada (tubo 2) a la más concentrada (tubo 8), se cometerá el mismo error de medida, por lo que no será necesario enjuagar y secar la cubeta después de cada medición.
13. Se anotan las medidas de absorbancia.
14. Una vez realizadas las medidas, se limpia cada uno de los tubos de ensayo con escobilla y jabón. Se lava con abundante agua del grifo y se enjuagan los tubos con agua destilada. Se dejan en la gradilla boca abajo para que se sequen.

Para calcular la concentración de proteína que se ha colocado en cada uno de los tubos de ensayo se tomará como ejemplo el tubo 2 en el que se han añadido 0,2 mL de BSA 10 mg/mL diluidos a un volumen de 2 mL con agua.

Realizando el cálculo correspondiente se obtiene:

$$(0,2 \text{ mL} \times 10 \text{ mg/mL}) : 2 \text{ mL} = 1 \text{ mg/mL}$$

Los valores experimentales de absorbancia obtenidos para cada concentración de proteína estándar calculada de cada uno de los tubos se presentan a continuación.

Concentración	Absorbancia
0	0
1	0,077
2	0,157
3	0,259
4	0,306
5	0,402
6	0,439
7	0,529
8	0,583

De acuerdo a estos valores se graficará el valor de Concentración vs Absorbancia, y se obtendrá la recta de calibración. Una vez obtenida esta recta se procederá a realizar lo mismo, pero tomando 2 mL solución de Bromelina con 3 mL de Reactivo de Biuret. Una vez obtenida el valor de absorbancia se calculará la concentración de Bromelina a través de la ecuación obtenida de la curva de calibración.

Donde:

A: Absorbancia

m: pendiente de la curva de calibración C: Concentración en mg/mL
b: intersección del valor de absorbancia o del eje Y

Materiales y reactivos para la determinación de concentración de proteínas

Materiales	Reactivos	Equipos
Agitador de tubos	Albumina Sérica Bovina	Balanza analítica
Matraces aforados	Hidróxido de Sodio	Espectrofotómetro
Beaker	Sulfato Cúprico Hidratado	
Pipetas	Tartrato de Sodio	
Gradillas	Tartrato de Potasio	
Tubos de ensayo	Yoduro de Potasio	
Cubetas de plástico de 3 mL	Agua destilada	

9.3. Apendice C (de los resultados de Calidad de la Bromelina)

9.3.1. Resultados de la Concentración de proteínas en Bromelina obtenida

	Laboratorio de Tecnología de Alimentos	LABAL-RT-FT-03	
	INFORME DE ENSAYOS	N° 01700	

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE			
Empresa	: Universidad Nacional de Ingeniería UNI	e-mail:	: baldelomar.ronald@yahoo.es
Dirección	: Semáforos de la UCA 200mts al lago, Recinto Simón Bolívar	Contacto:	: Lic. Ronald Baldelomar
Teléfonos	: 2267-0274	Móvil:	: S/D

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			
Tipo de Muestra	: Bromelina	Solicitud de Servicios N°	: 116-09-09-2020
Descripción de la Muestra	: S/D	Muestreado Por	: El Cliente
Fecha Recepción	: 2020-10-09	Fecha de Muestreo	: S/D
N° de Análisis	: 20200500	Lugar de Muestreo	: S/D
Análisis Solicitado	: Físico Químico	Fecha de finalización de análisis	: 2020/10/16

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO			
N°	Descripción	Resultados	Método de Referencia OFICIAL METHODS OF ANALYSIS
1	Proteína (N x 6.25)	3,5 %	22-052 AOAC: Determinación de Proteína

OBSERVACIONES: El laboratorio da fe únicamente de los resultados de la muestra recibida.

 Aura Lizeth Salinas Analista de Laboratorio LABAL-MIFIC	  Lic. María Ana Romerez R. Directora Ejecutiva LABAL-MIFIC	2020-10-16 Fecha de Emisión
---	--	---------------------------------------

9.3.2. Resultados de la Concentración de proteínas en Bromelina comercial

	Laboratorio de Tecnología de Alimentos	LABAL-RT-FT-03	
	INFORME DE ENSAYOS	N° 01700	

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE

Empresa : Universidad Nacional de Ingeniería UNI
Dirección : Semáforos de la UCA 200mts al lago, Recinto Simón Bolívar
Teléfonos : 2267-0274
e-mail: : baldelomar.ronald@yahoo.es
Contacto: : Lic. Ronald Baldelomar
Móvil: : S/D

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra : Bromelina
Descripción de la Muestra : S/D
Fecha Recepción : 2020-10-09
N° de Análisis : 20200500
Análisis Solicitado : Físico Químico
Solicitud de Servicios N° : 116-09-09-2020
Muestreado Por : El Cliente
Fecha de Muestreo : S/D
Lugar de Muestreo : S/D
Fecha de finalización de análisis : 2020/10/16

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

N°	Descripción	Resultados	Método de Referencia OFICIAL METHODS OF ANALYSIS
1	Proteína (N x 6.25)	4.88 %	22-D52 AOAC: Determinación de Proteína

OBSERVACIONES: El laboratorio da fe únicamente de los resultados de la muestra recibida.


Aura Lizeth Salinas
 Analista de Laboratorio
 LABAL-MIFIC




Lic. María Ana Ramírez R.
 Directora Ejecutiva
 LABAL-MIFIC

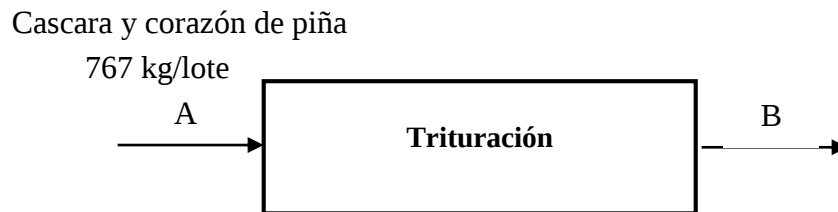
2020-10-16
Fecha de Emisión

9.4. Apendice D (del estudio tecnico)

9.4.1.. Balance de materia y energía

Para la realización del balance general de materia y energía se toma como referencia volumen total de residuo: 39,884 kg/año (Burke Agro S.A.), considerando el tiempo de extracción y operación de los equipos se determinó como base de cálculo: 767 kg/sem de residuo, tomando en cuenta que un año comprende 52 semanas.

○ Balance en Trituración

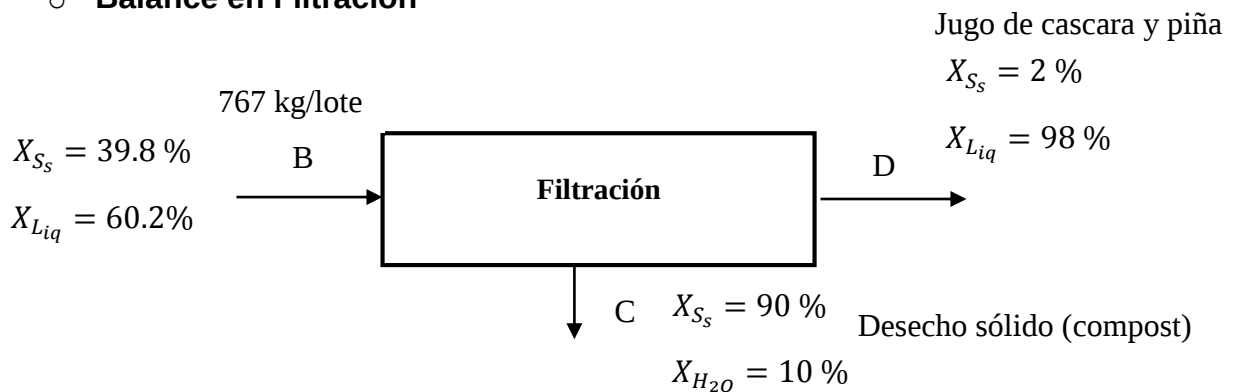


Balance global

$$A = B$$

$$B = 767 \text{ kg/lote}$$

○ Balance en Filtración



Balance global

$$B = C + D$$

Balance por componentes (sólidos)

$$X_{S_s} B = X_{S_s} C + X_{S_s} D$$

$$(0.398)767 \text{ kg/lote} = (0.90)C + (0.02)D$$

$$\frac{305.26 \text{ kg}}{\text{lote}} = 0.90C + 0.02D \quad (1)$$

Balance por componentes (líquidos)

$$X_{Liq} B = X_{Liq} C + X_{Liq} D$$

$$(0.602)767 \text{ kg/lote} = (0.10)C + (0.98)D$$

$$\frac{461.63 \text{ kg}}{\text{lote}} = 0.10C + 0.98D \quad (2)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se obtiene:

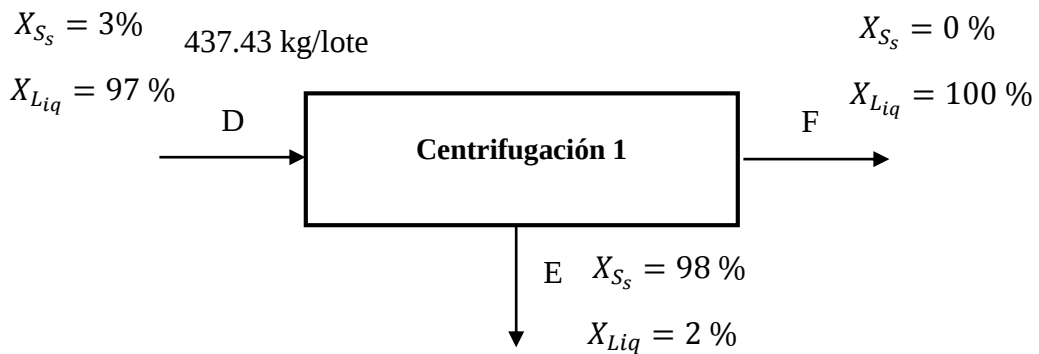
$$\frac{305.26 \text{ kg}}{\text{lote}} = 0.90C + 0.02D \quad (1)$$

$$\frac{461.63 \text{ kg}}{\text{lote}} = 0.10C + 0.98D \quad (2)$$

$$C = 329.45 \text{ kg}$$

$$D = 437.43 \text{ kg}$$

○ Balance en Centrifugación 1



Balance global

$$D = E + F \quad (3)$$

Balance por componentes (sólidos)

$$X_{S_s}D = X_{S_s}E + X_{S_s}F$$

$$(0.03)437.43 \text{ kg/lote} = (0.98)E$$

$$E = \frac{(0.03)437.43 \text{ kg/lote}}{0.98} = 13.39 \text{ kg/lote}$$

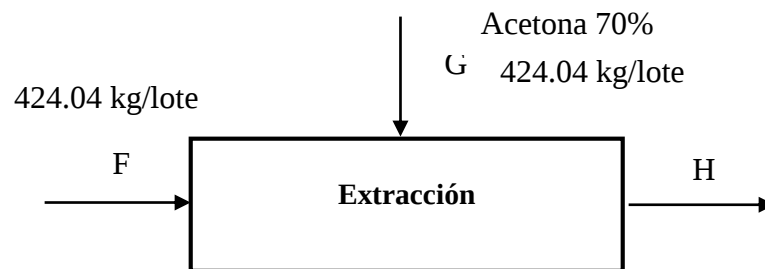
Sustituyendo el valor de E en balance global, ecuación (3) se obtiene:

$$F = D - E \quad (4)$$

$$F = 437.43 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} - 13.39 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} = 424.04 \text{ kg/lote}$$

○ Balance en Extracción

Relación de solvente 1:1 (acetona)



Balance global

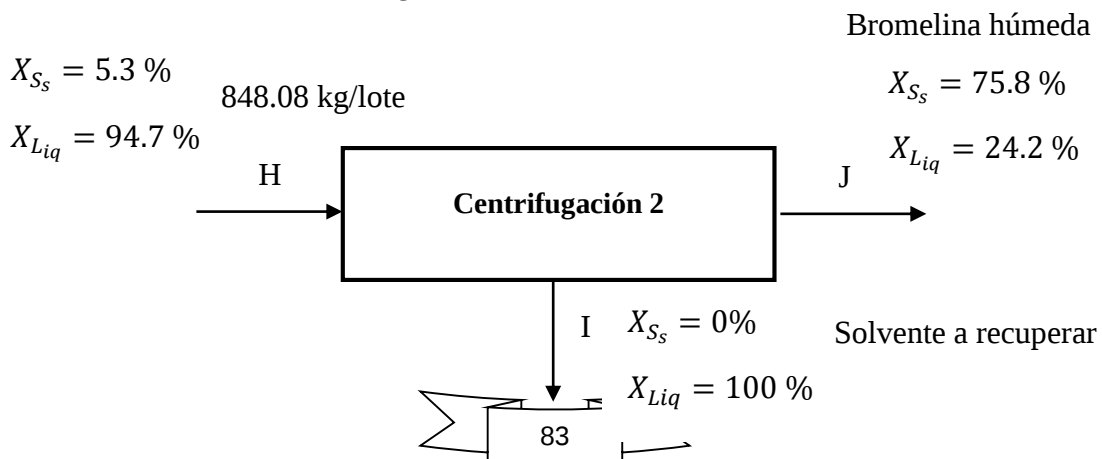
$$F + G = H \quad (5)$$

Despejando de la ecuación (5):

$$H = 424.04 \text{ kg/lote} + 424.04 \text{ kg/lote}$$

$$H = 848.08 \text{ kg/lote}$$

○ Balance en Centrifugación 2



Balance global

$$H = I + J \quad (6)$$

Balance por componentes (sólidos)

$$X_{S_s}H = X_{S_s}I + X_{S_s}J$$

$$(0.053)848.48 \text{ kg/lote} = (0.758)J$$

$$J = \frac{(0.053)848.48 \text{ kg/lote}}{0.758} = 59.32 \text{ kg/lote}$$

Sustituyendo el valor de J en balance global, ecuación (6) se obtiene:

$$I = H - J \quad (7)$$

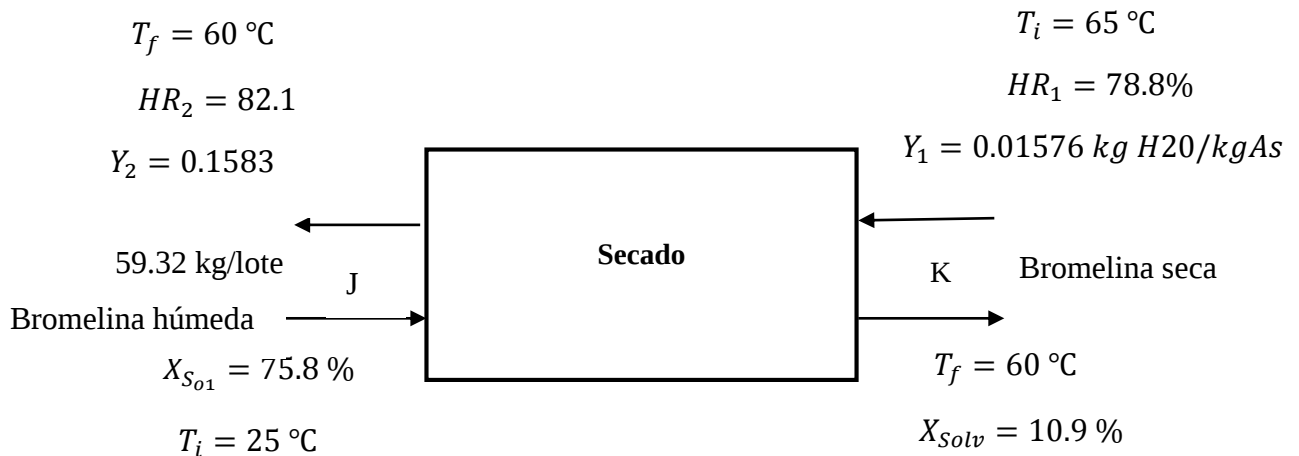
$$I = 848.48 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} - 59.32 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} = \text{kg/lote}$$

$$I = 789.15 \frac{\text{kg}}{\text{lote}}$$

Se calculó la densidad de la mezcla de Bromelina-jugo de piña y acetona obteniendo un valor de 0.88 kg/Lt.

$$I = 896.76 \frac{\text{Lt}}{\text{lote}} (\text{Acetona} + \text{jugo de piña})$$

○ Balance en Secado



Balance de masa de aire

Balance general

$$S_s X_1 + G Y_1 = S_s X_2 + G Y_2 \quad (8)$$

Balance de sólidos

$$J * X_{S_{s01}} = K * X_{S_{s02}} \quad (9)$$

$$K = J * \frac{X_{S_{s01}}}{X_{S_{s02}}} \quad (10)$$

$$K = 59.32 \text{ kg/lote}(0.758)/(0.891)$$

$$K = 50.46 \text{ kg/lote}$$

Masa de solido seco

$$M_{ss} = K \times X_{S_{s02}}$$

$$S_s = 50.46 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} * 0.891$$

$$S_s = 44.95 \text{ kg/lote}$$

$$S_s(X_1 - X_2) = G(Y_1 - Y_2) \quad (11)$$

$$X_1 = \frac{X_{Liq}}{1 - X_{Liq}} = \frac{0.242}{1 - 0.242}$$

$$X_1 = 0.3192$$

$$X_2 = \frac{X_{Liq}}{1 - X_{Liq}} = \frac{0.109}{1 - 0.109}$$

$$X_2 = 0.1223$$

Despejando el valor de G en ecuación (11) se obtiene:

$$G = \frac{S_s(X_1 - X_2)}{(Y_2 - Y_1)}$$

$$G = \frac{\frac{44.95 \text{ kg}}{\text{lote}} (0.3192 - 0.1233)}{(0.121 - 0.01576)} = 83.70 \frac{\text{kg}}{\text{lote}} \text{Aire}$$

Balance de energía

$$GH_3 + S_s H_1 = GH_4 + S_s H_2 - Q$$

Entalpía del aire a la entrada H_3

$$C_s = 1.005 + 1.88Y$$

$$C_s = 1.005 + 1.88(0.01576)$$

$$C_s = 1.0346 \text{ kJ/kgK}$$

$$H_3 = C_s(T_{\text{aire}} - T_0) + Y_3 \lambda_0$$

Tomando en cuenta que C_s es el calor húmedo en kJ/kg aire seco. K y T_0 es la temperatura de referencia y es 0 °C, λ_0 es el calor latente del agua a 0 °C que es igual a 2501 kJ/kg.

$$H_3 = (1.0346)(338.15 \text{ K} - 0) + (0.0157)(2501)$$

$$H_3 = 389.25 \text{ KJ/kgAs}$$

Entalpía del aire a la salida H_4

$$C_s = 1.005 + 1.88Y_4$$

$$C_s = 1.005 + 1.88(0.121)$$

$$C_s = 1.2324 \text{ kJ/kgK}$$

$$H_4 = C_s(T_{\text{aire}} - T_0) + Y_4 \lambda_0$$

$$H_4 = (1.2324)(333.15 \text{ K} - 0) + (0.121)(2501)$$

$$H_4 = 713.19 \text{ KJ/kgAs}$$

Entalpía del sólido a la entrada H_1

$$H_1 = C_{p_{Bro}}(T_{Bro} - T_0) + X_1 C_{p_{agua}}(T_{Bro} - T_0)$$

De acuerdo a la ecuación de (Choi, Y. and Okos, M.R., 1986), se realizó la estimación del valor de Cp para la Bromelina.

$$C_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}T - 1.3129 \times 10^{-6}T^2$$

$$C_p = 2.0082 + 1.2089 \times 10^{-3}(65^\circ) - 1.3129 \times 10^{-6}(65^\circ)^2$$

$$C_p = 2.0811 \frac{J}{kg^\circ C} \approx 2.0811 \times 10^{-3} \frac{KJ}{kg^\circ K}$$

$$H_1 = \left(2.0811 \times 10^{-3} \frac{KJ}{kg^\circ K}\right)(298.15 K - 0) \\ + (0.3192) \left(4.18 \frac{KJ}{kg^\circ K}\right)(298.15 K - 0)$$

$$H_1 = 0.6201 \frac{KJ}{kgAs} + 397.80 \frac{KJ}{kgAs}$$

$$H_1 = 398.42 \frac{KJ}{kgAs}$$

Entalpía del sólido a la entrada H_2

$$H_2 = C_{p_{Bro}}(T_{Bro} - T_0) + X_1 C_{p_{agua}}(T_{Bro} - T_0)$$

$$H_2 = \left(2.0811 \times 10^{-3} \frac{KJ}{kg^\circ K}\right)(333.15 K - 0) \\ + (0.1223) \left(4.18 \frac{KJ}{kg^\circ K}\right)(333.15 K - 0)$$

$$H_2 = 0.6933 \frac{KJ}{kgAs} + 170.3109 \frac{KJ}{kgAs}$$

$$H_2 = 171.00 \frac{KJ}{kgAs}$$

Encontrando el Calor Q

$$Q = GH_4 + S_s H_2 - GH_3 - S_s H_1$$

$$Q = (83.70 \frac{kg}{lote})(713.19 \frac{KJ}{kg}) + (44.95 kg/lote)(171.00 \frac{KJ}{kg}) \\ - (83.70 \frac{kg}{lote})(389.25 \frac{KJ}{kg}) - (44.95 kg/lote)(398.42 \frac{KJ}{kg})$$

$$Q = 59694 \frac{KJ}{lote} + 7686.45 \frac{KJ}{lote} - 32580.22 \frac{KJ}{lote} - 17908.97 \frac{KJ}{lote}$$

$$Q = 16,891.26 \frac{KJ}{lote} \approx 4.69 \frac{KW}{lote}$$

9.4.2. Equipos de producción



Elevador y triturador



Filtro prensa



Centrifuga



Tanque de refrigeración



Mezclador



Secador



Bomba centrifuga



Dosificador de polvos



Evaporador de aire acondicionado