

Universidad de Matanzas  
Sede "Camilo Cienfuegos"



Facultad de Ciencias Técnicas  
Departamento de Química e Ingeniería Química

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico

**Título: Propuesta de equipos para perfeccionar el proceso de obtención de una bebida energética y nutritiva a partir de *Moringaoleífera* y *Ananás Comosus*.**

**Autor (a): Elizabeth Rodríguez Álvarez**

**Tutor(a): Msc. Milagros Beatón Berenguer**

Matanzas, Cuba  
Junio, 2018



## **Declaración de Autoridad**

Yo, Elizabeth Rodríguez Álvarez declaro que soy la única autora de este trabajo de diploma y lo pongo a disposición de la Universidad de Matanzas, Sede “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo a todo aquel que la solicite, ya sea instituciones, profesionales, técnicos y demás personas, con el objetivo y finalidad que se considere conveniente. Para que así conste, firma:

Firma: \_\_\_\_\_  
Elizabeth Rodríguez Álvarez

## **Pensamiento**

*“...No tenemos la pretensión de haber dicho la última palabra en este problema pero tenemos la esperanza de que los cálculos presentes y las fórmulas dadas proporcionen algún servicio...”*

*E. Hugot*

## **Dedicatoria**

*A mi tía Yoya y mi abuelito que han sido las personas más importantes y queridas en mí vida.*

## **Agradecimientos**

- *A mi mamá, por darme todo su cariño y amor, la que ha sabido esperar y confiar en la llegada de este momento.*
- *A mi papá por su dedicación, desvelo y apoyo para mi educación.*
- *A mi tutora Milagros y a la profe Irina por toda su paciencia.*
- *A todos mis compañeros y profesores de la universidad.*

## Resumen

En la presente investigación se presenta una propuesta de equipos para perfeccionar el proceso de obtención de una bebida energética y nutritiva a partir de la hidrólisis enzimática de las proteínas presentes en las hojas de la *Moringa oleífera* con la bromelina presente en el fruto de la piña (*Ananas Comosus*). Se propone instalar un sistema de bombeo que permita el suministro de agua a los equipos que la requieren desde un tanque con un volumen capaz de abastecer la producción, un filtro prensa y un intercambiador de calor de placas con el fin de garantizar la transformación adecuada de la piña y la moringa en una bebida energética.

## Summary

The present investigation is carried out the proposal of the equipment for the obtaining of an energy and nutritious drink starting from the enzymatic hydrolysis of the present proteins in the leaves of the *moringa oleífera* with the present bromelain in the fruit of the pineapple (*ananas comosus*). A pump and a heat exchanger connected in series in order to keep the water circulating. It is proposed to install a pumping system that allows the supply of water to the equipment that requires it from a tank with a volume capable of supplying the production, a filter press and a plate heat exchanger in order to guarantee the adequate transformation of the pineapple and the moringa in an energy drink.



## Tabla de contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1. Análisis Bibliográfico .....	3
1.1. Bebidas no alcohólicas .....	3
1.2. Bebidas elaboradas a partir de frutas tropicales .....	4
1.3. Bebidas energéticas y nutritivas .....	6
1.4. Antecedentes del proceso de obtención de la bebida energética nutritiva y tecnologías de producción de bebidas a partir de frutas tropicales.....	8
1.5. Materias primas que se emplean en la elaboración de la bebida energética nutritiva .....	10
1.5.1. Moringa oleífera.....	10
1.5.1.1. Características y propiedades.....	11
1.5.1.2. Aplicaciones y usos de la moringa oleífera .....	12
1.5.2. La Piña.....	15
1.5.2.1. Usos más frecuentes.....	15
1.5.2.2. La bromelina .....	16
1.6. Equipos involucrados en la obtención de la bebida energética nutritiva .....	17
1.6.1. Filtro prensa.....	17
1.6.2. Intercambiador de placas.....	21
1.6.3. Bombas centrífugas.....	22
1.7. Conclusiones parciales del capítulo .....	24
Capítulo 2: Materiales y Métodos .....	25
2.1. Descripción general del proceso de elaboración de la bebida energética nutritiva a escala de planta piloto .....	25
2.2. Etapas de la investigación.....	27
2.3. Determinación de los flujos del proceso.....	27

2.4. Diseño de la bomba a emplear para el trasiego de agua .....	29
2.5. Selección del filtro .....	33
2.6. Diseño del primer intercambiador de placas .....	34
Capítulo 3. Análisis de los resultados.....	37
3.1. Resultados del balance de masa y energía que cuantifican los flujos del proceso.	37
3.4. Resultados hidrodinámico del diseño de la bomba para el trasiego del agua.....	41
Análisis de los resultados. ....	49
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	51
Referencias bibliográficas .....	52
Anexos .....	58

## Introducción

La industria de las bebidas incluye una amplia variedad de productos, la cual se elabora a partir de una serie de materias primas. Entre estos productos de alta demanda en la sociedad se encuentran las bebidas alcohólicas y aquellas que no incluyen alcohol como son jarabes de bebidas refrescantes; zumos de frutas, café, y té, entre otras (Villaamil, 2005).

En la actualidad, el mercado ofrece una gran variedad de bebidas refrescantes, muchas de ellas son carbonatadas, aunque el consumo de refrescos sin gas cada vez es mayor. Estos últimos son un grupo intermedio entre los refrescos carbonatados y los jugos de fruta y se obtienen de la mezcla de agua con azúcares o edulcorantes, aromatizantes y acidulantes. También se les suele añadir ácido ascórbico como antioxidante y fuente de vitamina C (Mena, 2010). Diversas investigaciones plantean que las bebidas rehidratantes para deportistas, son refrescos que se formulan para reponer líquidos y facilitar la rehidratación tras una actividad física intensa o durante ella, estas bebidas se conocen también como isotónicas y reemplazadoras de electrolitos. Este tipo de bebidas también contienen carbohidratos como fuente de energía y suelen incluir una mezcla de vitaminas, particularmente vitamina C, complejo B y E (Russos, 2014).

Otros tipos de bebidas refrescantes son las llamadas enriquecidas, que contienen proteínas, minerales, vitaminas y fibras. Algunas se destinan a mercados específicos, como las bebidas sin cafeína para niños y que contienen un alto nivel de calcio.

Diversos son los criterios sobre el término de bebidas energéticas y aunque autores como *American Academy Of Pediatrics* (2014.) la definen atendiendo a la presencia de sustancias estimulantes como la cafeína, la taurina, el guaraná, entre otros, la Academia Americana de Pediatría plantea que estas bebidas no son recomendables para adolescentes y niños, por los efectos negativos que estos estimulantes pueden causar sobre la salud a largo plazo. Es por ello que especialistas que colaboran con esta institución se refieren al término energético, solo por el aporte calórico de la fuente primaria, expresadas en la mayoría de los casos por la presencia de carbohidratos.

El grupo de investigación de la Planta Piloto de Producción de Bebidas correspondiente a la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos ha venido desarrollando trabajos con la incorporación de la *moringa oleífera* como materia prima en los procesos objeto de las investigaciones utilizando además frutas tropicales como la piña y el plátano ; del desarrollo de estos trabajos se plantea la necesidad de lograr una propuesta definitiva para la línea de producción de la bebida energética y nutritiva que utiliza piña y moringa como materias primas mediante equipos que permitan lograr el procesamiento de estas, pues ante esta situación se plantea precisamente como **problema de investigación** el siguiente:

¿Cómo lograr la propuesta definitiva de una línea de producción de bebida energética y nutritiva a partir de moringa y piña?

Para dar solución a dicho problema, se plantea la siguiente **hipótesis**:

Si se completa los equipos para lograr el procesamiento de estas materias primas se dispondrá de la línea de producción adecuada para obtener una bebida energética y nutritiva con un elevado valor proteico.

Para ello se dispone como **Objetivo General**:

Proponer equipos que garanticen la transformación adecuada de la piña y la moringa en una bebida energética y nutritiva.

**Objetivos específicos:**

1. Diseñar el sistema hidráulico para el suministro de agua al proceso.
2. Seleccionar el filtro técnicamente factible para la obtención del licor macerado.
3. Diseñar el intercambiador de placas para el enfriamiento del producto.

## Capítulo 1. Análisis Bibliográfico

En este capítulo se muestra una panorámica sobre los tópicos más importantes de la amplia gama vinculada al sector de la producción de bebidas a partir de frutas tropicales. También se ofrecen datos interesantes acerca de las materias primas y del proceso objeto de estudio.

### 1.1. Bebidas no alcohólicas

La industria de las bebidas se compone de dos categorías principales y ocho subgrupos. La categoría de las bebidas sin alcohol que comprende: la fabricación de jarabes de bebidas refrescantes; el embotellado y enlatado de agua y bebidas refrescantes; embotellado, enlatado y envasado en cajas de zumos de frutas; la industria del café; y la industria del té. La categoría de las bebidas alcohólicas incluye los licores destilados, el vino y la cerveza (Villaamil, 2005).

Según Rufino (2013) las bebidas no alcohólicas se clasifican en cuatro grupos:

- **Agua para consumo:** según su origen puede ser superficial o subterránea y puede estar envasada o no, en este último caso se hace referencia al agua corriente del grifo. Esta bebida es un componente elemental en la dieta y aunque su valor proteico es nulo su aporte en minerales no es despreciable.
- **Bebidas refrescantes:** Son aquellas bebidas no fermentadas, carbónicas o no, preparadas con agua potable o mineral, a las que se ha añadido uno o varios de los siguientes ingredientes entre los que se destacan zumos de frutas, extractos de frutas o partes de plantas comestibles (frutas, tubérculos y semillas disgregadas); esencias naturales, agentes aromáticos y sustancias sápidas; edulcorantes naturales; dióxido de carbono; agua potable; agua mineral. Su valor nutricional es prácticamente nulo excepto en lo que respecta a su valor calórico, ya que cuando contienen glúcidos (y no edulcorantes acalóricos), éste puede variar de 20-40 kcal/100 mL. El contenido en agua de estas bebidas hace que sean una de las fuentes importantes de hidratación en la dieta. Además, pueden ser vehículo de administración de ciertas vitaminas (grupo B y vitamina C) y minerales (calcio, magnesio, sodio).

Existen otras bebidas refrescantes como las bebidas deportivas (Son productos dietéticos, cuya misión es la de compensar las pérdidas elevadas de nutrientes antes o después de trabajos físicos que aumentan la sudoración. Las más comunes son las bebidas para reponer fluidos), bebidas enriquecidas y neutracéuticas (son refrescos que se asemejan organolépticamente a las anteriores, pero que contienen cantidades más elevadas de nutrientes) y Bebidas energéticas (Son similares a los refrescos, y su efecto principal es debido a un contenido muy elevado en cafeína).

- **Zumos de frutas:** es el zumo obtenido de la fruta mediante procesos mecánicos, fermentable, pero sin fermentar, que tiene las características de olor, sabor y color típicos de la fruta de que procede. Actualmente, la definición se ha ampliado para incluir al producto obtenido a partir de un concentrado, el cual debe poseer las características sensoriales y analíticas equivalentes al zumo obtenido directamente de la fruta. El valor nutricional de esta bebida es similar al de la fruta que le dio origen, también suelen tener menor concentración de algunas vitaminas: vitamina C, ácido fólico y vitamina A.
- **Bebidas estimulantes:** Son las que tienen un efecto estimulante sobre el sistema nervioso central debido a su contenido en bases xánticas: alcaloides del grupo de la metilxantina (cafeína, teofilina, teobromina). No poseen aporte energético si no son endulzadas.

## **1.2. Bebidas elaboradas a partir de frutas tropicales**

Las frutas tropicales forman parte de la dieta humana y contienen componentes bioactivos que pueden ejercer efectos fisiológicos más allá de la nutrición con lo cual promueve la salud humana y con resultados beneficiosos. Estudios epidemiológicos demuestran que el consumo regular de frutas y vegetales está asociado con la disminución del riesgo de padecer enfermedades crónicas como el cáncer, problemas cardiovasculares, Alzheimer, derrame cerebral, cataratas o el empeoramiento funcional asociado a la edad (Schieber; Stintzing&Carle, 2009).

Según a lo planteado por Carbajal (2011) los componentes que nos aporta el consumo de frutas en general y que son beneficiosos para la salud de los consumidores, se pueden clasificar en:

- Agua: en general todas las frutas tienen un alto porcentaje en torno al 90%.
- Vitaminas: las frutas son ricas en vitaminas C, ácido fólico, vitamina B6 fundamentalmente.
- Sales minerales: potasio, magnesio y calcio.
- Hidratos de carbono: glucosa, fructosa, sacarosa, sorbitol.
- Fibra: mejora el tránsito intestinal.
- Ácidos orgánicos: ácido cítrico (acción desinfectante), málico, oxálico y salicílico (acción analgésica, anticoagulante y antiinflamatoria)
- Polifenoles: efecto antioxidante.

Es muy importante conocer el significado de las denominaciones de las bebidas elaboradas a partir de frutas. El CODEX STAN 247-2011 define los siguientes términos. Zumo: es zumo de fruta 100%, pero puede añadir vitamina C, aromas y hasta 15 gramos de azúcar por litro de zumo, además de agua cuando se elabora a partir de zumos concentrados.

- Néctar de fruta: es una mezcla de zumo y agua en proporción variable según la fruta de que se trate; puede llevar más de 15 gramos de azúcar por litro.
- Refresco a base de zumo: es un zumo aún más diluido que el néctar y puede llevar no sólo azúcar y aromas, sino también conservantes y colorantes.
- Refrescos aromatizados: no tienen por qué llevar zumo y, si lo llevan, siempre será en un porcentaje muy pequeño; pueden usar numerosos colorantes (totalmente injustificados) y aromas; estos productos no pueden mostrar la palabra "zumo" en sus etiquetas ni tampoco imágenes de frutas.

### **1.3. Bebidas energéticas y nutritivas**

En el tema de bebidas energéticas diversas son las definiciones abordadas, según: Melgarejo (2006); Roussos, *et al.* (2014), las bebidas energéticas son bebidas analcohólicas, generalmente gasificadas, compuestas básicamente por cafeína e hidratos de carbono, azúcares diversos de distinta velocidad de absorción, más otros ingredientes, como aminoácidos, vitaminas, minerales, extractos vegetales, acompañados de aditivos acidulantes, conservantes, saborizantes y colorantes. Se las puede ubicar como un alimento funcional, ya que han sido diseñadas para proporcionar un beneficio específico, el de brindar al consumidor una bebida que le ofrezca vitalidad cuando, por propia decisión o necesidad, debe actuar ante esfuerzos extras, físicos o mentales. El concepto de energía es más amplio que el que se desprende sólo del valor calórico aportado por los hidratos de carbono. La energía está dada por las calorías aportadas, más la vitalidad que proporcionan al organismo sus otros componentes a través de acciones diversas, sobre todo en situaciones de desgaste físico y/o mental, experimentadas ante un trabajo excesivo, concentración, estado de alerta, vigilia, etc.

Según Villaamil (2005), Rufino (2013), Salvador, *et al.* (2013), las bebidas energéticas son bebidas mezclas embotelladas o enlatadas generalmente gasificadas, compuestas básicamente por cafeína y glúcidos (sacarosa, glucosa, glucuronolactona, fructosa), aminoácidos (taurina), vitaminas (grupo B, C), minerales (inositol y carnitina, Mg, K), extractos vegetales, acidulantes (ácido cítrico, citratos de sodio), conservantes (benzoato de sodio), saborizantes y colorantes (riboflavina-5'-fosfato). Son similares a los refrescos, y su efecto principal es debido a un contenido muy elevado en cafeína (tienen tres veces más cafeína que las bebidas de cola convencionales).

La Academia Americana de Pediatría (2014) plantea que las bebidas energéticas son aquellas, que aportan un valor calórico determinado por la presencia de carbohidratos como su componente principal y que además presentan otras sustancias empleadas para reposición de líquidos y electrolitos que se pierden con la práctica de ejercicios físicos o la realización de esfuerzos prolongados. Es



consideración del autor que este último criterio es más generalizador y amplía la gama de consumidores, puesto que es conocido que las sustancias estimulantes pueden causar efectos negativos sobre la salud a largo plazo de su consumo, por lo que limita su consumo en adolescentes, niños y personas de la tercera edad.

El consumo de las bebidas energéticas, como todo alimento funcional, no pretende reemplazar alimento alguno, sino aportar algún beneficio adicional buscado por el consumidor. Asimismo, está encuadrado dentro de las legislaciones alimentarias de cada país y no dentro de las normas que regulan los medicamentos (Melgarejo, 2006).

Según Rivera (2008) las bebidas energéticas a base de frutas son bebidas que contienen un bajo porcentaje de jugo de fruta o saborizante de fruta, agua carbonatada y saborizantes.

Las bebidas nutritivas son alimentos con una composición muy interesante dado que los alimentos de los que proceden contienen variedad de nutrientes, como son: proteínas, grasas insaturadas, hidratos de carbono, ciertos minerales y vitaminas, estas son elaboradas mayormente a partir de vegetales, principalmente cereales, legumbres y frutos secos.

La denominación legal en los países de la Unión Europea para presentar una bebida de origen vegetal es la etiqueta "bebida de...", acompañada del cereal, la legumbre o el fruto seco del que se obtenga. Desde el punto de vista nutritivo, tienen la ventaja de carecer de lactosa y caseína, y esto las hace útiles en el tratamiento de intolerancias y alergias alimentarias a esos componentes.

La población en general, y en especial los más jóvenes, podrían consumir las bebidas vegetales como una alternativa muy saludable a los refrescos u otras bebidas energéticas o excitantes (Yépez, 2015).

Es criterio del autor, que se pueden combinar ambas cualidades en una misma bebida de manera que una bebida energética y nutritiva sea aquella que aporte un valor calórico determinado por la presencia de carbohidratos como su componente principal y que además presente otras sustancias como proteínas, aminoácidos y vitaminas que hacen de su consumo una opción saludable para todas las edades.

Estudios de mercados realizados por Miranda, *et al.* (2013) arrojan que la producción de bebidas energéticas y nutritivas, elaboradas a partir de frutas es insuficiente por lo que representa una potencialidad de explotación en la actualidad.

Según los análisis de diversas investigaciones consultadas (Ubeda, *et al.* 2014), la tendencia a nivel mundial de consumo de bebidas naturales y con propiedades terapéuticas se ha incrementado, con el aumento de una cultura alimentaria adecuada por parte de la población.

#### **1.4. Antecedentes del proceso de obtención de la bebida energética nutritiva y tecnologías de producción de bebidas a partir de frutas tropicales**

En la Planta Piloto de Producción de Bebidas correspondiente a la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos se ha venido trabajado intensamente en la producción de varias bebidas a partir de subproductos de otras industrias mediante el empleo de tecnologías limpias. Se ha determinado que se puede aprovechar el afrecho de cebada residual del proceso de obtención de cerveza, ya que contiene nutrientes suficientes para el desarrollo, crecimiento y multiplicación de las bacterias acéticas con la adición de etanol para lograr considerables volúmenes de vinagre. Utilizando además el almidón extraído de los frutos del plátano, degradado enzimáticamente para producir una fuente rica en azúcares fermentables. Producto de que los plátanos y bananos (*Musa spp*) se encuentran entre las principales plantas que se cultivan en las zonas tropicales y subtropicales de América Latina, Asia y África, lugares donde predominan temperaturas y humedades relativas altas (Faisant *et al.*, 1995).

También se ha estudiado la degradación enzimática del almidón de boniato para obtener vinagre empleando residuales de la industria cervecera entre ellos, afrecho o bagazo de malta, trub y crema de levadura. Estos residuos contienen azúcares, aminoácidos, etanol, proteínas, minerales, componentes volátiles y otros elementos que sirven como nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las bacterias acéticas encargadas de producir el ácido acético, constituyente característico del vinagre.

En la última década se ha incrementado el empleo de enzimas en la industria, especialmente la alimenticia, cabe señalar que pocas han sido las investigaciones que las aprovechan a partir de las fuentes naturales en el empleo como materias primas en la elaboración de alimentos y en especial de bebidas no alcohólicas. En Cuba se desarrollan diversas investigaciones sobre el proceso de obtención de bebidas y refrescos, pero la mayoría se asocian a la evaluación de opciones de producciones más limpias en el proceso de obtención (Crespo, 2013) y no al desarrollo de nuevas tecnologías, para el desarrollo de nuevas bebidas con características nutritivas, solo se reporta en la bibliografía el Yogurt de Soya como nutritivo.

La Planta Piloto de Bebidas de la Universidad de Matanzas ha potenciado las líneas de investigación en la obtención de bebidas con la incorporación de elementos nutricionales a partir de materias primas vegetales como es la *Moringa oleífera*, donde se desarrolló recientemente un trabajo *con* resultados muy alentadores (Ricardo, 2012).

Las hojas de la *moringa oleífera* son excepcionalmente ricas en vitaminas y diferentes aminoácidos, por lo que se recomiendan para tratar problemas de malnutrición en niños (Fuglie, 2001). El empleo de enzimas proteolíticas permite hidrolizar las proteínas contenidas en diversas materias primas. Las proteasas son enzimas que hidrolizan las cadenas polipeptídicas de las proteínas, se caracterizan por tener gran variedad de especificidades (Gacesa y Hubble, 1990). También se ha utilizado la bromelina que se obtiene del jugo, de la fruta o de los tallos de la piña (*ananas comosus*) como alternativa de materia prima en la producción de bebidas, la cual es una glicoproteína del grupo de las cisteína proteasas. Actúa de preferencia sobre los aminoácidos básicos y aromáticos de las proteínas. Su pH óptimo varía con el sustrato, en el rango de 5 a 8 y tiene baja tolerancia térmica y se puede utilizar para hidrolizar proteínas solubles de la cerveza que pudieran precipitar y causar opacidad por el enfriamiento (Carrera, 2002).

En aras de enriquecer estas bebidas incorporando elementos nutricionales (Marrero, 2016) plantea en su tesis de diploma cómo obtener una bebida

energética y nutritiva no fermentada, a partir de la hidrólisis de las proteínas de las hojas de moringa con jugo de piña. Donde propone como objetivo fundamental una tecnología para la obtención de una bebida energética y nutritiva no fermentada de alto valor proteico a partir de la hidrólisis de las proteínas presentes en las hojas de moringa, en presencia de jugo de piña y papaína.

## **1.5. Materias primas que se emplean en la elaboración de la bebida energética nutritiva**

### **1.5.1. Moringa oleífera**

El nombre científico del árbol de la moringa es *pterygospermagaertne*, pertenece a la familia *moringaceae* y tiene su origen en la región noroeste de la India, al sur de la cordillera del Himalaya (Odee, 2012 y Ricardo, 2012). La *moringa oleífera* era muy estimada en el mundo antiguo. Los romanos, griegos y egipcios extrajeron el aceite comestible de las semillas y lo usaron para el perfume y las lociones superficiales. En siglo IX, las plantaciones de moringa en la India estaban dirigidas a la exportación de aceite a Europa para los perfumes y lubricante para las maquinarias. Las personas en la India han usado las vainas de moringa por mucho tiempo para alimentarse. Esta crece muy bien en la región tropical del continente americano, donde es conocida entre otros nombres como: Terebinto, Arango, Marango, Narango, Árbol de las Perlas, Chinto Borrego, Jacinto, Paraíso Blanco, San Jacinto, Perla de la India o Rábano Picante. En América Latina y Centro América el Marango se introdujo y naturalizó en 1920 como un árbol ornamental y fue utilizado como cerca viva y cortinas rompe vientos.

Según Fahey, (2005) se reproduce por estacas o semillas, de fácil crecimiento pero sin embargo este crecimiento se ve afectado en las temperaturas frescas disminuyendo su velocidad. Es un árbol muy versátil, resistente a la sequía, se puede cultivar en climas cálidos, húmedos y lluviosos, aunque se cultiva mejor en el sol y no en la sombra. Las partes de la planta de mayor uso son las semillas y hojas. Las hojas de las plantas son las más usadas y las de un alto valor nutritivo.

La Moringa (Anexo 1) es un género de plantas con numerosas especies distribuidas por zonas áridas y semiáridas de Asia, África y Madagascar.

La especie más conocida es *moringa oleífera* y su principal utilidad es la de complemento alimenticio. La moringa se está revelando como un recurso de primer orden y bajo coste de producción para prevenir la desnutrición y múltiples patologías, como la ceguera infantil, asociadas a carencias de vitaminas y elementos esenciales en la dieta. Esta planta tiene un futuro prometedor en la industria dietética y como alimento proteico para deportistas especialmente atendiendo a su carácter de alimento natural. Otras ventajas añadidas son su gran velocidad de crecimiento, su facilidad de cultivo, su capacidad de aceptar grandes podas y su gran rusticidad (Soliva *et al.*, 2005).

#### **1.5.1.1. Características y propiedades**

Recientes estudios han concluido que el árbol tiene propiedades anti-inflamatorio, analgésico, antiasmático, anti-anemia, activador del metabolismo, purificador, protector del hígado, antihipertensivo, productor de hormonas, promueve el crecimiento del cabello, hidrata, moviliza los líquidos del cuerpo (homeostático), desintoxica, fortalece los músculos y huesos, mejora la alerta mental, la memoria y la capacidad de aprendizaje (Makkar y Becker 1996, Sánchez *et al.*, 2006, Melesse *et al.*, 2009, Melesse *et al.*, 2011). La *moringa oleífera* contiene vitamina A (Beta Caroteno), vitamina B1 (Tiamina), vitamina B2 (Riboflavina), vitamina B3 (Niacina), vitamina B6 (Piridoxina), vitamina B7 (Biotina), vitamina C (Ácido Ascórbico), vitamina D (Colecalciferol), vitamina E (Tocoferol) y vitamina K. Además de estas vitaminas la misma contiene minerales como son el calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso y zinc. Otras razones para beneficiarse con el consumo de la *moringa oleífera* es que: incrementa las defensas del cuerpo, proporciona los requerimientos para los ojos y el cerebro, proporciona los ingredientes biodisponibles en el metabolismo, controla naturalmente los niveles elevados de colesterol sérico, reduce la aparición de arrugas y líneas finas, estimula el funcionamiento óptimo del hígado y el riñón, embellece la piel, proporciona energía y promueve la correcta digestión, actúa

como antioxidante, estimula al sistema inmunológico del cuerpo, colabora para tener un sistema circulatorio saludable, produce una sensación de bienestar general sin recurrir a drogas o medicina alópata y controla los niveles de azúcar en la sangre (Moyo *et al.*, 2011).

A continuación se muestra la Tabla 1.1 donde se registran los valores de concentración de aminoácidos presentes en las hojas y vainas verdes de la planta. Como se aprecia, los valores más significativos son en las hojas del árbol. Estos aminoácidos son aquellos, los cuales el organismo no puede sintetizar y deben ser incorporados a la dieta del hombre.

**Tabla 1.1.** Concentración de aminoácidos presentes en las hojas y vaina verde de la *moringa oleífera* (g/kg materia seca) (Melesse *et al.*, 2011)

<b>Aminoácidos esenciales</b>	<b>Hojas</b>	<b>Vaina-Verde</b>
Arginina	15.4	13.8
Cisteína	3.5	4
Isoleucina	77	4.75
Leucina	21	9.08
Lisina	13.2	5.28
Metionina	4.26	2.41
Fenilalanina	16.4	5.89
Treonina	12.9	5.31
Valina	14.2	5.96

### **1.5.1.2. Aplicaciones y usos de la moringa oleífera**

Desde hace milenios, prácticamente todas las partes de *moringa oleífera* han sido utilizadas por el hombre. Las hojas, las flores, los frutos y las raíces son apreciados por su valor nutritivo y pueden ser usados tanto en la alimentación humana como en la animal. Las hojas son excepcionalmente ricas en vitaminas y diferentes aminoácidos, por lo que se recomiendan para tratar problemas de malnutrición en niños (Fuglie, 2001).

También se emplean como forraje, biopesticida y para la producción de biogás (Fahey, 2005). Las semillas se utilizan en la alimentación, la medicina, el tratamiento de aguas y como fertilizantes (Foidlet *et al.*, 2001). La corteza del tronco es útil en la adsorción de metales pesados (Reddy, Ramana, Seshaiyah y Reddy, 2011), así como para la fabricación de cuerdas y alfombras (Ramachandran, Peter y Gopalakrishnan, 1980). El aceite se usa en la industria de perfumería y en la de cosméticos como lubricante, en la alimentación humana y en la producción de biodiesel (Rashid, Anwar, Moser, y Knothe, 2008). Las cascarillas de las semillas sirven de materia prima para la producción de carbón activado y de intercambiadores aniónicos. La planta también se emplea como biomasa lignocelulosa del tronco y de las ramas puede ser utilizada como material de construcción y para producir pulpa celulósica y etanol (Fahey, 2005). Solo a finales del siglo XX este árbol empezó a recibir una atención merecida por parte de la comunidad científica. Durante las últimas dos décadas se han publicado numerosos reportes sobre la evaluación científica de los procesos de utilización de la planta, así como la identificación de principios activos y mecanismos de acción, lo que ha permitido explicar muchos de los efectos beneficiosos previamente conocidos, optimizar su explotación y proponer nuevas aplicaciones (Yang *et al.*, 2006).

Esta planta tiene diversos usos, fundamentalmente se emplea en la alimentación humana, animal y en la medicina. A continuación se muestran algunos ejemplos de ellos.

- Usos medicinales

Esta planta posee numerosas propiedades curativas y se utiliza en el tratamiento de diversas afecciones de la salud humana. Las raíces y la corteza del árbol son utilizadas en problemas cardiacos y de circulación sanguínea e inflamaciones. El aceite es usado contra la histeria, problema de la próstata y presión de los vasos sanguíneos. El alto contenido de hierro que contienen las hojas es utilizado contra la anemia. Las flores en cocimiento son útiles para controlar problemas respiratorios en humanos (Zhao *et al.*, 2012).

- Alimentación animal

Las hojas de la *moringa oleífera* son fácilmente consumidas por los bovinos, ovejas, chivos, cerdos, pollos, conejos y también pueden usarse en la alimentación de peces. Muchos estudios han demostrado el significativo reemplazo de los forrajes tradicionales por las hojas de *moringa oleífera* (Ogbeet *al.*, 2011).

- Fertilizantes

Pruebas de laboratorio en Leicester, Inglaterra, confirmaron que la masa que queda después del tratamiento de la semilla para la extracción de aceite, es altamente valorada como fertilizante natural, con un gran contenido en nitrógeno y coagulantes activos. Esta masa se seca y se puede almacenar por largos períodos de tiempo, (Makkar y Becker, 2012).

- Clarificador de agua

En muchas partes del mundo el agua de los ríos es turbia, y se utiliza para el consumo humano. Esta turbidez es eliminada con productos químicos convencionales que implican grandes costos, sin embargo, los estudios demuestran que las semillas de *moringa oleífera* machacadas reducen la turbidez del agua cruda hasta un 80%, reduciendo el riesgo de muerte humana por consumir agua contaminada (Sengupta *et al.*, 2012).

- Fuente de hormonas, promotoras del crecimiento vegetal

Se puede obtener la hormona Zeatina a partir de extractos de las hojas y tallos jóvenes de la *moringa oleífera*, obtenidos a través de un proceso de trituración y extracción con etanol. Esta hormona promueve el crecimiento de las plantas de un 25-30%, tales como: soya, maíz, café, sorgo, cebolla, pimienta, chile, melón, etc (Makkar y Becker, 2012).



### **1.5.2. La Piña**

En el conjunto de las plantas tropicales encontramos al *Ananás comosus*, el ananá o piña, es una planta perenne de la familia de las *bromeliáceas*, nativa de América del Sur. La cual se le ha clasificado como una de las frutas más conocidas y finas en el mundo con más de 2.700 especies agrupadas en 56 géneros de la familia de las Bromelias. Esta especie de escaso porte con hojas duras y lanceoladas de hasta un metro de largo fructifica una vez cada tres años produciendo un único fruto fragante y dulce, muy apreciado en gastronomía, siendo, de todos los procedentes de América Latina, el que más éxito tiene en Europa (Watt, 1962).

#### **1.5.2.1. Usos más frecuentes**

El fruto se aprecia para su consumo fresco y en conserva. En Occidente se usa habitualmente como postre, aunque cada vez más como ingrediente dulce en preparaciones de comida oriental. Cuando el *ananá* está maduro, la pulpa es firme pero flexible, las hojas se pueden arrancar de un fuerte tirón y el aroma es más intenso en la parte inferior. Debido al costo del transporte del fruto fresco y la concentración del consumo, se producen numerosos subproductos industrializados, en especial jugos y mermeladas. Del jugo se produce un vinagre excelente y muy aromático (Brienet *al.*, 2004). Entre las propiedades medicinales del mismo la más notable es la de la enzima proteolítica llamada bromelina, que ayuda a metabolizar los alimentos. Es también diurético, ligeramente antiséptico, desintoxicante, antiácido y vermífugo. Se ha estudiado su uso como auxiliar en el tratamiento de la artritis reumatoide, la ciática, y el control de la obesidad. Es rico en vitamina C y en fibra. La alta concentración de bromelina en la cáscara y otras partes permite su uso para aliviar infecciones laríngeas y faríngeas, así como en uso tópico para la cistitis y otras infecciones.

Las proteasas son enzimas que hidrolizan las cadenas polipeptídicas de las proteínas, se caracterizan por tener gran variedad de especificidades. De acuerdo con el aminoácido o metal que posean en su sitio activo se clasifican en cuatro familias: serina-proteasas, aspártico-proteasas, cisteína-proteasas y metal-proteasas (Gacesa y Hubble, 1990)

### 1.5.2.2. La bromelina

La bromelina según Lago, *et al* (1996) es una enzima proteolítica encontrada inicialmente en las hojas y en el tallo de la planta *Ananascomosus*.

Se obtiene del jugo, de la fruta o de los tallos de la piña. Es una glicoproteína del grupo de las cisteína proteasas. Actúa de preferencia sobre los aminoácidos básicos y aromáticos de las proteínas. Su pH óptimo varía con el sustrato, en el rango de 5 a 8. Tiene baja tolerancia térmica. La enzima se utiliza principalmente como ablandador de carne (tiene buena actividad 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 (Carrera, 2002).

El primer aislamiento de la bromelina fue expuesto por el químico venezolano Vicente Marcano en 1891 (Watt, 1962). En 1892, Chittenden junto a su asistente Joslin y Meara estudiaron la enzima con mayor profundidad y la llamaron bromelina. La bromelina está presente en todas las partes de la fruta pero la mayor concentración se encuentra en los tallos (Fitzhugh *et al.*, 2008).

La bromelina constituye una extraordinaria mezcla compleja de tiol-endopeptidasas y otros, los cuales no están caracterizados como fosfatasas, glucosidasas, peroxidasas, celulasas, glicoproteínas y carbohidratos, entre otros (Cooreman, 1978 y Rowan y Buttle, 1994). Además la bromelina contiene varios inhibidores de proteínas (Lenarcic, 1992 y Hatano, 1996).

#### Propiedades químicas de la bromelina:

- El principal residuo amínico terminal, es la valina y el carboxilo terminal es glicina.
- La enzima es una glicoproteína que tiene un oligosacárido por molécula, el cual está unido por covalencia a la cadena peptídica.
- La bromelina de tallo tiene un grupo sulfhídrico reactivo por molécula, el cual es esencial para la catálisis enzimática.
- Los principales aminoácidos contenidos en la bromelina son: Arginina, ácido aspártico, serina, prolina, alanina, valina, glicina, metionina, amonio, glucosamina.

### Características físicas de la bromelina:

**Tabla 1.2.**

Propiedades	Tallo de piña
Peso molecular	33000 Da
Color	Blanco
Estado	Solido (polvo)
Olor y sabor	Característico
Solubilidad	En compuestos polares (agua)
pH óptimo	7
Actividad enzimática	1200 GDU/g
Temperatura de inactivación	70 C

### Aplicaciones de la bromelina:

- Son biomoléculas con fines alimenticios y terapéuticos.
- Algunas se reconocen como remedios naturales.
- Otras como fármacos modificadores de la respuesta biológica.
- La aplicación más antigua de la bromelina es como ablandador de carnes.
- Es también efectiva en la producción de hidrolizados y medios de cultivo.
- Tiene varias acciones farmacológicas: aumenta la absorción de otros medicamentos, inhibe la agregación plaquetaria y se ha utilizado como digestivo, antiinflamatorio, así como en la formulación de vacunas.
- En estudios recientes se demostró su actividad antitumoral y se ha informado que la bromelina induce respuestas del sistema inmune.

## **1.6. Equipos involucrados en la obtención de la bebida energética nutritiva**

### **1.6.1. Filtro prensa**

Uno de los tipos de filtros más importantes es el filtro prensa. Estos filtros consisten de placas y marcos alternados con una tela filtrante a cada lado de las

placas, las placas tienen incisiones con forma de canales para drenar el filtrado en cada placa. Los filtros prensa son normalmente discontinuos, mientras que los de vacío lo son continuos. Sin embargo, un filtro discontinuo de vacío resulta a veces muy útil. Un tipo nutcha que es utilizado para la filtración discontinua de suspensiones, con una gran concentración de sólidos, con formación de torta filtrante es poco más que un embudo Büchner grande, de 3 a 10 pies de diámetro, en la que se forma una capa de sólidos de 4 a 12 pulgadas de espesor. Debido a su sencillez, una nutcha puede construirse fácilmente con materiales resistentes a la corrosión y resulta interesante cuando han de filtrarse cargas experimentales de una gran variedad de materiales corrosivos. Estos tipos de filtros no son recomendables para operaciones de producción debido al elevado coste de mano de obra que supone su utilización. (MCCABE *et al.*, 2002)

La suspensión de alimentación se bombea en la prensa y fluye a través del conducto al interior de cada uno de los marcos abiertos, de manera que va llenando los espacios vacíos. El filtrado fluye entre la tela filtrante y la superficie de la placa, a través de los canales y hacia el exterior, mientras los sólidos se acumulan como torta en los marcos.

En muchos casos, el filtro prensa tiene una descarga abierta individual para cada marco, que permite una inspección visual para verificarla transparencia del líquido filtrado. Si una de las salidas descarga líquido turbio debido a una perforación de la tela o a otras causas, se puede cerrar por separado y continuar con la operación. Cuando los espacios están totalmente llenos, las placas y los marcos se separan y se extraen las tortas.

Los filtros prensa se usan en los procesos por lotes pero no se pueden emplear para procesos de alto rendimiento. Se manejan con facilidad, son versátiles y de operación flexible y se pueden utilizar altas presiones si es necesario, con soluciones viscosas o cuando la torta de filtro tiene una gran resistencia. (MCCABE *et al.*, 2002)

Las placas de un filtro prensa pueden ser cuadradas o circulares, verticales u horizontales. Lo más frecuente es que los compartimentos para sólidos estén formados por huecos en las caras de placas de polipropileno moldeado. En otros

diseños el filtro está formado por placas y marcos como los de la Figura 6, donde placas cuadradas de 6 a 78 pulg de lado alternan marcos abiertos. Las placas tienen un espesor de 1/4 a 2 pulg mientras que el de los marcos es de 1/8 a 8 pulg. Las placas y los marcos se sitúan verticalmente en un bastidor metálico, con telas cubriendo las caras de cada marco, y se acoplan estrechamente entre sí por medio de un tornillo o una prensa hidráulica. La suspensión entra por un extremo del ensamblaje de placas y marcos. Pasa a través de un canal que recorre longitudinalmente el ensamblaje por una de las esquinas de las placas y marcos. También existen canales auxiliares para llevar la suspensión desde el canal de entrada hasta cada una de las placas. Los sólidos se depositan sobre las lonas que recubren las caras de las placas. El líquido pasa a través de las telas, desciende por las canaladuras de las caras de las placas y sale del filtro prensa.(MCCABE *et al.*, 2002)

Una vez instalado el filtro prensa, se introduce la suspensión por medio de una bomba a una presión de 3 a 10 atm. La filtración continúa hasta que ya no sale líquido por el tubo de descarga o bien aumenta bruscamente la presión de filtración, Esto ocurre cuando las placas se llenan de sólido y ya no puede entrar más suspensión. Se puede entonces pasar líquido de lavado para eliminar las impurezas solubles contenidas en los sólidos, y a continuación insuflar aire o vapor de agua para desplazar la mayor parte de líquido residual. Se abre entonces la prensa y se retira la torta de sólidos, pasándola a un transportador o a un depósito de almacenamiento. En muchos filtros prensa estas operaciones se realizan automáticamente, tal como ocurre en el equipo que se muestra en el (Anexo3).

El filtro prensa de marcos y placas está conformado por los siguientes elementos:

a) Soporte estructural del filtro.A su vez está conformado por los elementos siguientes:

- Mecanismo de cierre: Actualmente sólo se instala sistema electro-hidráulico con bomba hidráulica de doble etapa que acciona uno o más cilindros de doble acción.
- Cabezal de accionamiento: Aloja el mecanismo de cierre y constituye uno de los extremos de la prensa. Suele construirse en fundición modular o conformada en

chapa electro-soldada. En el primer caso suele incluir en su diseño el propio cilindro de cierre. Además está soportado mediante patas que se unen a los apoyos del filtro de forma rígida o deslizante.

- Cabezal móvil: Transmite la fuerza de cierre sobre el paquete filtrante, alojando, en ocasiones, el resto de conexiones externas del filtrado. Se construye en fundición o chapa de acero. Este, se soporta y se desplaza sobre las barras laterales o la viga superior mediante pastillas de deslizamiento o rueda con elementos de nivelación.

- Barras laterales: Constituye el elemento de conexión entre los cabezales extremos de la prensa, alas que van unidas de forma rápida o articulada, y sirven de apoyo o de soporte al paquete filtrante.

b) Paquete filtrante. Sobre cuyos elementos se produce el proceso de separación sólido líquido y está constituido por:

- Placas filtrantes: Conforman las cámaras donde se retiene y forma la “Torta”. Esta cámara puede ser de espesor fijo o ser susceptible de variar su espesor durante el proceso de operación, dando lugar a una clasificación básica de los filtros prensa: de cámara o de membrana.

Dentro de los filtros de cámara, ésta puede formarse por medio de placa plana y marco; o más habitualmente, por medio de un rebaje efectuado en la propia placa. La fabricación de la placa ha evolucionado desde la madera, aluminio y fundición de hierro a los plásticos siendo la más común, actualmente, la fabricación en Polipropileno. Pero para algunas aplicaciones especiales siguen utilizándose otros materiales.

- Telas filtrantes: Realizan la primera separación, dando lugar a la formación de la pre-capa sobre la que continúa realizándose la filtración, determinando el nivel inicial de corte realizado en la filtración.

En la filtración a altas presiones, se utilizan a veces telas, soporte de las propias telas de filtración, que favorecen la evacuación del filtrado y mejoran la vida de la propia tela filtrante.(MCCABE *et al.*, 2002)

### **1.6.2. Intercambiador de placas**

En el caso de los BHE, las placas están soldadas entre sí y conectadas a dos placas finales de apoyo. No existen las juntas ni los elementos de soporte y apriete. Este diseño ha sido concebido para las aplicaciones de alta presión y temperatura de trabajo y presentan la ventaja de poder ser montados directamente sobre las cañerías. La cantidad, tamaño, material y configuración geométrica de las placas dependerá de las características del proceso, esto es, del caudal, propiedades físico – químicas de los fluidos, temperaturas y pérdida de presión requeridas. (Walas.et al ,2010)

La construcción de los intercambiadores está determinada principalmente por las características de las placas y en el caso de los PHE también por las propiedades de sus juntas. Las placas constituyen el alma del equipo y tanto la selección de materiales como el diseño, tamaño y cantidad de las mismas dependerá de las condiciones del servicio requerido.

#### Aplicaciones de los Intercambiadores de Placas:

1. Aplicaciones con cruce de temperaturas.
2. Aproximaciones cercanas (agua fresca/agua de mar)
3. Fluidos viscosos (emulsiones)
4. Requerimientos de superficie esterilizada (industrias alimentaria y farmacéutica)
5. Requerimientos de superficie esmaltada (industrias del látex y farmacéutica)
6. Requerimientos de expansión futura
7. Restricción de espacio
8. Servicios con refrigerantes (ciclos de refrigeración cerrados)
9. Aplicaciones con sólidos en suspensión (arcilla, carbonato de calcio precipitado)

### **1.6.3. Bombas centrífugas**

La mayoría de los procesos en las industrias de procesos químicos incluyen la conducción de líquidos o transferencia de un valor de presión o de energía estática a otro.

La bomba es el medio mecánico para obtener esta conducción o transferencia y por ello es parte esencial de todos los procesos. A su vez, el crecimiento y perfeccionamiento de los procesos están ligados con las mejoras en el equipo de bombeo y con un mejor conocimiento de cómo funcionan las bombas y cómo se deben aplicar.

Las bombas centrífugas constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para manejar más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

La acción del bombeo es la adición de energías cinética y potencial a un líquido con el fin de moverlo de un punto a otro. Esta energía hará que el líquido efectúe trabajo, tal como circular por una tubería o subir a una mayor altura.

Una bomba centrífuga transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en la energía cinética y potencial requerida. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la punta de los álabes o periferia del impulsor y de la densidad del líquido, la cantidad de energía que se aplica por libra de líquido es independiente de la densidad del líquido. Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad.

Las bombas para las industrias de procesos químicos difieren de las utilizadas en otras industrias principalmente en los materiales de que están hechas. Hay bombas disponibles hechas con carbón, vidrio, porcelana, caucho, plomo y una serie de plásticos que incluyen fenólicos, epoxi y fluorocarbonos. Cada uno de esos materiales se ha incorporado en las bombas por una sola razón: eliminar o reducir los efectos destructores de los productos químicos en las piezas de la bomba.



Dado que el tipo de líquido corrosivo determinará qué material será el adecuado, primero se debe hacer un cuidadoso estudio de las características del producto químico que se va a manejar. (Kenneth J, 1998).

### Cavitación y rendimiento de la bomba

La cavitación ocurre cuando la presión absoluta dentro de un impulsor cae por abajo de la presión de vapor del líquido y se forman burbujas de vapor. Éstas se contraen más adelante en los álabes del impulsor cuando llegan a una región de presión más alta. La (NPSH), mínima para una capacidad y velocidad dadas de la bomba se define como la diferencia entre la carga absoluta de succión y la presión de vapor del líquido bombeado a la temperatura de bombeo y que es necesaria para evitar la cavitación.

La cavitación de la bomba se nota cuando hay una o más de las siguientes señales: ruido, vibración, caída en las curvas de capacidad de carga y eficiencia y, con el paso del tiempo, por los daños en el impulsor por picadura y erosión. Como todas estas señales son inexactas, se hizo necesario aplicar ciertas reglas básicas para establecer cierta uniformidad en la detección de la cavitación.

Si se deja que entren el aire o gas arrastrados en el líquido a la bomba centrífuga, éstos perjudicarán el rendimiento de la misma. La forma más frecuente en que el aire entra a la succión de la bomba es por la formación de vórtices o remolinos en la superficie libre del líquido.

A veces, el aire se infiltra a la bomba por el prensaestopas si no está bien sellado. La cantidad de aire o gas que puede manejar la bomba sin peligro es de 0.5 % en volumen (medida en las condiciones de succión). Si se aumenta esa cantidad al 6% el efecto es casi desastroso. (Kenneth J, 1998).

### Factores a tener en cuenta para la selección de la bomba

Cuando la bomba se utiliza para transferencia o recirculación, puede haber una posible acumulación de productos de corrosión o contaminantes que reducirán su duración útil. Esa acumulación puede tener un beneficio o un serio perjuicio y, por

ello, la posibilidad de la acumulación siempre se debe incluir en la evaluación de las características del producto que se maneja.

Puede haber adición, intencional o accidental, de inhibidores y aceleradores al producto. Los inhibidores le reducen su corrosividad y los aceleradores la aumentan.

Los materiales para las bombas se dividen en general en metálicos y no metálicos. Los metálicos se pueden subdividir en aleaciones ferrosas y no ferrosas con amplia aplicación en los procesos químicos. Los no metálicos se pueden subdividir en cauchos naturales y sintéticos, plásticos, cerámicas y vidrio, carbono y grafito, y madera.

Por supuesto, la madera tiene poca o ninguna aplicación en una bomba. Los otros no metálicos tienen aplicaciones definidas en el manejo de sustancias muy corrosivas. Los plásticos, en particular, tienen especial resistencia a la corrosión y se emplean mucho para productos químicos. (Kenneth J, 1998).

### **1.7. Conclusiones parciales del capítulo**

1. Las bebidas naturales elaboradas a partir de frutas tropicales son consumidas un amplio mercado a nivel internacional y sus efectos son positivos en la salud de sus consumidores.
2. El empleo de las hojas de *Moringa oleífera*, por su composición, es una fuente rica en aminoácidos y en calorías, que eleva el valor proteico en el proceso de obtención de bebidas nutritivas y energéticas.
3. Las enzimas proteolíticas, entre ellas, la bromelina presente en el fruto de la piña y la papaína, son ampliamente empleadas en la industria de producción de alimentos, por sus propiedades para hidrolizar proteínas.
4. El análisis sensorial de una bebida es de gran importancia para evaluar la calidad de la misma y su grado de aceptación entre los consumidores.
5. El filtro prensa, el intercambiador de placas y la bomba centrífuga constituyen equipos fundamentales en la obtención de la bebida energética y nutritiva y son los más utilizados en esta rama de la industria.

## **Capítulo 2: Materiales y Métodos**

En el presente capítulo se describe la metodología seguida en la realización de los procedimientos aplicados y equipos fundamentales utilizados en la investigación teniendo en cuenta que se va a trabajar en proceso discontinuo, tomando como base la producción de 500 L/h de la bebida energética y nutritiva.

### **2.1. Descripción general del proceso de elaboración de la bebida energética nutritiva a escala de planta piloto**

#### Recepción y lavado de la fruta

El inicio de fabricación consiste en el lavado de la piña con agua para eliminarles restos de tierra, insectos, probables pesticidas y así reducir la carga microbiana autóctona del fruto que puede perjudicar los procesos siguientes. Para este lavado se utilizó el agua proveniente de un tanque que abastece todo el proceso.

#### Molienda

Posteriormente la fruta lavada pasa a un molino donde se unen las materias primas del proceso con el objetivo de obtener una pulpa con un 25% en sólidos de piña más moringa y un 75% en agua.

#### Maceración

En esta etapa se llevan a cabo las reacciones de hidrólisis enzimáticas; en la cual ocurre una escalera de temperatura, primero mantener una temperatura de 50 °C durante 1 h, después durante 15 min a 65 °C y por último a una temperatura de ebullición durante 10 min.

#### Filtración

Aquí ocurre la separación de las partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del fluido a través de un medio filtrante sobre el que se depositan los sólidos; por medio de un filtro prensa. De esta etapa se genera un residuo sólido

que puede ser empleado como alimento animal y se obtiene una torta con un 5% de humedad.

#### Almacenamiento del licor macerado

Como el filtro prensa opera de manera discontinua se requiere de un tanque para el almacenamiento de la bebida y el ajuste de los grados brix.

#### Enfriamiento

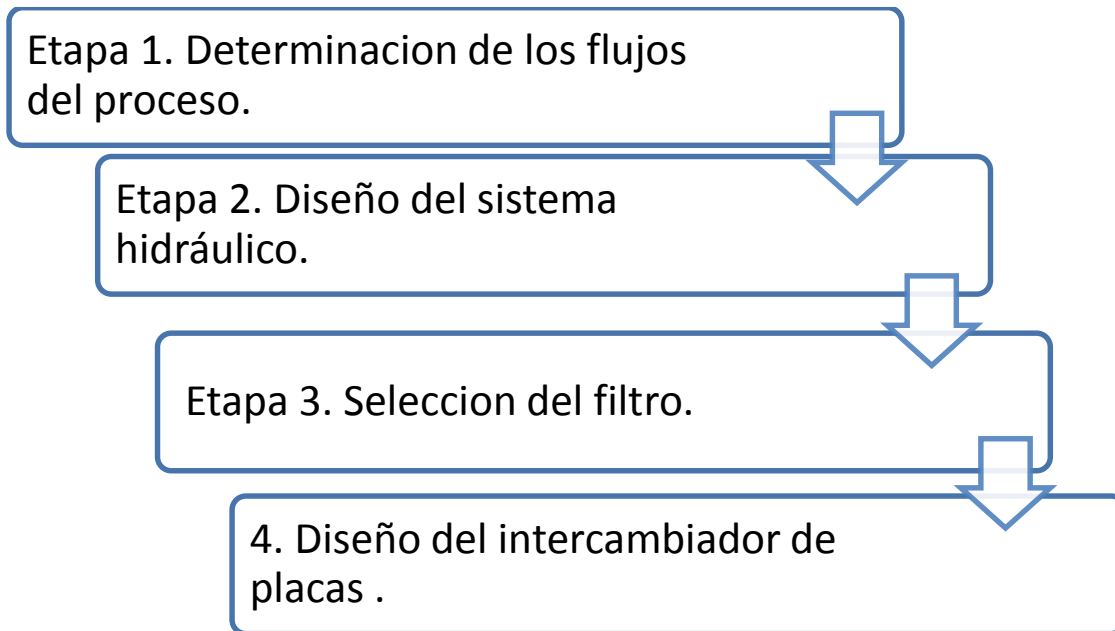
En esta etapa se utilizan dos intercambiadores de placas PHE con el objetivo que la bebida llegue al carbonatador con la temperatura necesaria para la carbonatación para ello se utiliza en el primer intercambiador un agua de enfriamiento con una temperatura de 30<sup>0</sup>C para obtener una temperatura de salida de la bebida de 35<sup>0</sup>C posteriormente en el segundo intercambiador por medio de una solución de glicol se llega a la temperatura para la carbonatación.

#### Carbonatación

En la carbonatación se obtiene el producto final con los parámetros deseados, para ello se trabaja en un rango de temperatura de 0 a 5<sup>0</sup>C y se le añade CO<sub>2</sub> a la bebida para mejorar las propiedades organolépticas como sabor, frescura y lista para el embotellado.

## 2.2. Etapas de la investigación

La presente investigación se desarrolla de acuerdo a las etapas expuestas a continuación:

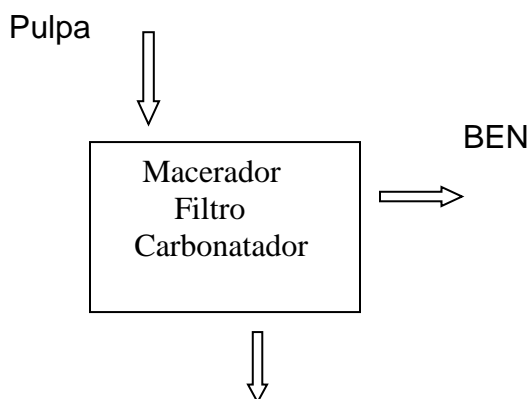


## 2.3. Determinación de los flujos del proceso

Para realizar el diseño de los equipos es necesario cuantificar los flujos a procesar mediante balances de masa y energía, los cuales se realizan a partir de la ley de conservación de la masa.

Ecuaciones del balance de masa para determinar el agua necesaria para la molienda:

Sistema (Macerador + Filtro + Carbonatador)



## Torta

Balance total:  $P = Q + T$ ec. (2.1)

Donde:

- P (flujo másico de la pulpa) formada por sólidos + agua
- Q (flujo másico de BEN) bebida energética nutritiva
- T (flujo másico de la torta)

Balance para el componente agua:  $P \cdot X(\text{agua})_P = T \cdot X(\text{agua})_T + Q \cdot X(\text{agua})_Q$   
ec.(2.2)

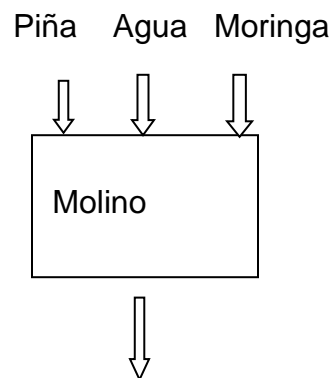
Donde:

$X(\text{agua})_P$ : Composición de agua que hay en la pulpa .

$X(\text{agua})_T$ : Composición de agua que hay en la torta .

$X(\text{agua})_Q$ : Composición de agua en agua

## Molino



Pulpa

Balance para el componente agua:  $\text{Piña} \cdot X(\text{agua})_P + \text{Moringa} \cdot X(\text{agua})_M + \text{H}_2\text{O}_{\text{molienda}} \cdot X(\text{agua})_{\text{H}_2\text{O}} = P \cdot X(\text{agua})_P$ ec.(2.3)

Balance de energía para determinar el agua necesaria para el enfriamiento:

Intercambiador 1

$Q_{\text{ced}} = Q_{\text{abs}} + Q_{\text{pec}}$ . (2.4)

$$M_1 * C_p * (T_1 - T_2) = M_2 * C_p * (t_2 - t_1) \quad \text{ec. (2.5)}$$

Donde:

$M_1$  (Flujo de BEN [kg/h].)

$C_p$ . (Calor específico de la BEN [kJ/ kg\*K].)

$T_1$  (Temperatura de entrada de la BEN [°C].)

$T_2$  (Temperatura de salida de la BEN [°C].)

$M_2$  (Flujo de agua [kg/h].)

$C_p$ . (Calor específico del agua [kJ/ kg\*K].)

$t_1$  (Temperatura de entrada del agua [°C].)

$t_2$  (Temperatura de salida del agua [°C].)

- Considerando que no hay pérdidas de calor por tanto, el término de  $Q_p$  es cero.

#### 2.4. Diseño de la bomba a emplear para el trasiego de agua

Para la obtención de la bebida es necesario instalar una bomba que sea capaz de transportar el agua necesaria desde el tanque hasta los equipos que la requieren como son: la lavadora, el molino y el primer intercambiador. Para esto se revisan catálogos y bibliografía especializada en el tema.

Se determinan parámetros de diseño de la misma como capacidad de flujo, presión de trabajo, carga neta de succión positiva (NPSH) y características físicas.

Para comprobar si las bombas existentes son adecuadas para el trasiego de agua al proceso, se tiene en cuenta los distintos criterios de selección de bomba, los cuales son:

- La capacidad de flujo de la bomba debe ser mayor o igual que el flujo del sistema.
- La carga de la bomba debe ser mayor o igual que la del sistema.
- La carga neta de succión positiva (NPSH) de la bomba debe ser menor o igual que la del sistema.

Para ello se utiliza la ecuación del balance de energía mecánica.

$$z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + H_b = z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + \sum hf_{1-2} \quad (\text{Ec 2.6})$$

Se despeja la carga de la bomba obteniéndose:

$$H_b = z_2 + \left[ \frac{\alpha_2}{2g} \cdot (v_2^2 - v_1^2) \right] + \left[ \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot (P_2 - P_1) \right] + \sum hf_{1-2} - z_1 \text{ (Ec. 2.7)}$$

Dónde:

P1 y P2: son las presiones en el punto 1 y 2 (Pa)

$\rho$ : densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

g: gravedad específica (m/s<sup>2</sup>)

Z1 y Z2: altura en el eje de referencia 1 y 2 (m)

$\alpha_1$  y  $\alpha_2$ : factor de corrección de energía cinética en el punto 1 y 2

V1 y V2: velocidad del fluido en el punto 1 y 2 (m/s)

Hb: carga de la bomba (m)

$\sum Hf$ : pérdidas totales por fricción en tuberías y accesorios (m)

Para el cálculo de las pérdidas por fricción totales se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$\sum \text{totales } hf_t = \sum hf_{\text{tubería}} + \sum hf_{\text{accesorios}} \text{ (Ec 2.8)}$$

Las pérdidas por fricción en la tubería se determinan por la siguiente ecuación:

$$hf_{\text{tuberías}} = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot d \cdot g} \text{ (Ec.2.9)}$$

Donde:

Hf<sub>tub</sub>: pérdidas por fricción en tuberías. (m)

f: factor de fricción.

v: velocidad del fluido por la tubería. (m/s)

L: longitud de la tubería. (m)

d: diámetro de la tubería. (m)

g: gravedad específica. (m/s<sup>2</sup>)

Para determinar las pérdidas por fricción en los accesorios se usa la siguiente ecuación:

$$hf_{\text{accesorios}} = \sum k \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \text{ (Ec.2.10)}$$

Donde:

Hf<sub>acc</sub>: pérdidas por fricción en accesorios. (m)



k: valor de coeficientes de resistencias locales

Para hallar el factor de fricción se necesita conocer el régimen de flujo. El régimen en que se encuentra el fluido se determina mediante el cálculo del número de Reynolds. La ecuación que permite calcular el Reynolds del fluido es la siguiente:

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \text{(Ec. 2.11)}$$

Donde:

Re: número adimensional de Reynolds.

$\mu$ : viscosidad del fluido en tuberías. (Pa·s)

$\rho$ : densidad del fluido en tuberías. (Kg/m<sup>3</sup>)

Los datos de viscosidad y de densidad lo tenemos de la búsqueda bibliográfica realizada. Es necesario conocer el valor del Reynolds para saber cómo es el régimen y el valor de  $\alpha$ , y con este determinar el factor de fricción. Para ello puede emplearse la siguiente expresión:

Si  $Re < 2100$ : Régimen de flujo laminar y  $\alpha = 2$

Si  $2100 < Re < 4000$ : Régimen de flujo de transición

Si  $Re > 4000$ : Régimen de flujo turbulento y  $\alpha = 1$

La velocidad del fluido puede determinarse mediante la expresión:

$$v = \frac{4q}{\pi D^2} \text{(Ec. 2.12)}$$

Para determinar el área se emplea la ecuación:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \text{(Ec. 2.13)}$$

Donde:

q: flujo volumetrico (m<sup>3</sup>/s)

A: Área (m<sup>2</sup>)

Una vez determinado el régimen del fluido y teniendo como dato el diámetro y fijando la rugosidad de la tubería según la bibliografía consultada (Rosabal, 2006) se selecciona el factor de fricción y se calculan las pérdidas en tuberías.

Para determinar las pérdidas por fricción en accesorios necesitamos el valor de los coeficientes de resistencias locales (k) se encuentra en la literatura consultada. (Rosabal,

2006)

Se calculan las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios antes y después de la bomba siguiendo la metodología anterior y utilizando los datos que le correspondan se calculan luego las pérdidas por fricción totales.

#### Cálculo del NPSH del sistema.

Para comprobar el último de los criterios de selección de la bomba se calcula el NPSH (sistema) por la siguiente ecuación, y se compara con el dato de la chapa de la bomba.

$$NPSH(sistema) = \frac{P - P(vapor)}{\rho * g} \quad ec. (2.14)$$

Donde P, es la presión de entrada a la bomba y para calcularla se hace un balance mecánico antes de la bomba, manteniendo el flujo volumétrico, diámetro de la tubería y accesorios.

Despejando de la ecuación de balance mecánico se obtiene la siguiente expresión:

$$P = \rho * g * \left[ \frac{P1}{\rho * g} + Z1 + \frac{\alpha * (V1)^2}{2 * g} + Hb - \left( \frac{\alpha * (V3)^2}{2 * g} \right) - Z3 - \sum Hf \right] \quad ec. (2.15)$$

Donde:

V3: Velocidad en la tubería. [m/s]

Z3: Altura, (eje de referencia 3). [m]

$\sum Hf$ : Pérdidas por fricción antes de la bomba, [m]

- ✓ Se calculan las pérdidas por fricción antes de la bomba, siguiendo la metodología planteada anteriormente.

## 2.5. Selección del filtro prensa de placas y marcos.

Consideraciones y datos necesarios para la selección del filtro :

- El proceso requiere una capacidad de filtración de 0.678 m<sup>3</sup>/h
- El flujo se mantiene constante
- Se quiere obtener un volumen de filtrado igual a 0.5 m<sup>3</sup> por cada ciclo
- Las resistencias específicas de la torta y del medio filtrante se conocen de trabajos anteriores
- La viscosidad del líquido filtrado es conocida también de trabajos anteriores.
- Se deberá obtener 0.182 kg de sólido en la torta por unidad de volumen de filtrado
- El 80% del tiempo del ciclo corresponde a la filtración.
- La presión de trabajo es conocida

Para el cálculo del tiempo de duración de un ciclo nos apoyaremos en la expresión siguiente:

$$Q_f = V/t_f \quad \text{ec. (2.16)}$$

Donde:

- $Q_f$  (Capacidad de filtrado)
- $V$  (Volumen de filtrado)
- $t_p$  (tiempo de duración de un ciclo)

Para calcular el área de filtración lo haremos por la siguiente expresión partiendo del criterio que el volumen de filtrado es constante:

$$\frac{(-\Delta P)}{\mu} = \frac{\alpha * C}{t_f} \left( \frac{V^2}{S} \right) + \frac{R_m}{t_f} \left( \frac{V}{S} \right) \quad \text{ec. (2.17)}$$

$$\text{Teniendo que: } t_f = 0.8 * t_p \quad \text{ec. (2.18)}$$

Donde:

tf ( tiempo de filtrado)

## **2.6. Diseño del primer intercambiador de placas**

La etapa de carbonatación requiere que el producto que va a ser procesado posea determinadas condiciones iniciales para que esta sea efectiva, uno de los requerimientos es que dicho producto posea una temperatura de 0 a 5°C. El producto que sale del macerador posee una temperatura aproximada de 85°C por lo que es necesario enfriarlo para su posterior carbonatación.

Teniendo en cuenta esta condición se puede trabajar con varios intercambiadores entre los que se encuentran los intercambiadores de placa PHE y los intercambiadores de tubo y coraza.

Para seleccionar el más adecuado se procede a realizar una comparación entre ambos.

- ❖ Los intercambiadores de placas PHE son fácilmente desarmables en todos sus componentes para limpieza, inspección y mantenimiento.
- ❖ Su área de transferencia de calor puede ser cambiada o reajustada debido a la flexibilidad que existe en cuanto a número de placas, tipos de placas y arreglo de flujo.
- ❖ La alta turbulencia lograda en los platos reduce las incrustaciones entre un 10 – 25% de las incrustaciones en un intercambiador de coraza y tubos.
- ❖ El área de transferencia de calor de estos es de un medio a un tercio del área de un intercambiador de coraza y tubos para el mismo servicio, reduciendo así los costos y el volumen global del equipo.
- ❖ El peso bruto de un intercambiador de placas es un sexto del peso de un intercambiador de coraza y tubos. La fuga de un fluido a otro no puede tener lugar a menos que las placas se perforen.
- ❖ Las juntas son entre placas, cualquier fuga a través de las juntas será hacia afuera del equipo.
- ❖ No existen lugares fríos ni calientes en el intercambiador que puedan provocar el deterioro de los fluidos sensibles al calor.
- ❖ El alto grado en que se alcanza el arreglo en contracorriente puro, permite una aproximación de temperaturas de hasta 1°C (2°F).

- ❖ La alta eficiencia térmica (hasta cerca de 93%) facilita una recuperación de calor económica.
- ❖ Las vibraciones provocadas por el flujo de fluidos, ruido, alto estrés térmico provocados en los intercambiadores de coraza y tubos no existen en los intercambiadores de placas.
- ❖ Son más apropiados para los servicios líquido – líquido donde se requiera de un enfriamiento o calentamiento rápido y uniforme.
- ❖ Las velocidades de escurrimiento promedio en los intercambiadores de placas (PHE) son menores que en los de tubos y coraza (THE), por lo que sus velocidades oscila entre 0.5 a 0.8 m /s contra los 1.2 a 2 m/s que se presentan en los intercambiadores de casco y tubos.
- ❖ Poseen coeficientes totales de transferencia de calor muy superiores a los de casco y tubos.

Todos estos equipos cuentan además con la aprobación de las más estrictas normas y códigos internacionales de construcción vigentes tales como: ASME, Sec.VIII, ADMerkblätter, BS 5500 Bureau Veritas, TÜV, UL, etc. Este conjunto de ventajas nos permite llegar a la conclusión de que el intercambiador apropiado es el de placas PHE.

Par poder seleccionar el modelo del intercambiador es necesario realizar el cálculo de varios parámetros. Dichos cálculos se pueden realizar siguiendo el método de Raju&Chand.

Este procedimiento presenta dos caminos: el primero hace uso del factor de corrección ( $F_t$ ) de la diferencia de temperaturas media logarítmicas ( $\Delta t_m$ ) y el segundo hace uso de la eficiencia de la transferencia de calor ( $\epsilon$ ) como función del NTU.

Para ambos métodos se asume que:

- Las pérdidas de calor son despreciables
- No se presentan espacios con aire en el equipo
- El coeficiente global de transferencia de calor se mantiene constante dentro del equipo.

- Los perfiles de temperaturas varían solo en la dirección del flujo
- Las corrientes se distribuyen uniformemente en cada canal en el caso de flujo paralelo.

Si N es el número de placas, el número de canales formados será N+1.

Según los datos asumidos anteriormente la metodología seguida para cada caso será:

- Caudal y temperaturas de entrada y salida del líquido caliente
- Caudal y temperatura de entrada del líquido frío.
- Propiedades físicas de los fluidos
- Características físicas de la placa.

#### Método del factor de corrección (Ft)

1. Cálculo del calor intercambiado:  $q = G \cdot c_p \cdot \Delta t$  ec (2.19)
2. Determinación de la temperatura de salida del líquido frío (según heurísticas)
3. Determinación de las propiedades físicas de los fluidos a la temperatura media entre las de entrada y salida
4. Cálculo de la diferencia de temperaturas media logarítmica  $\Delta t_m$  ec. (2.20)
5. Cálculo del NTU =  $(t_f - t_c) / \Delta t_m = K_s \cdot A_t / G_c \cdot C_p$ . ec. (2.21)
6. Determinación del factor de corrección de temperatura media Ft., según gráfico
7. Cálculo el número de Reynolds para cada corriente: Para flujo en serie, el caudal circula en una corriente única para cada fluido y se calcula por la fórmula conocida.

Para flujo en paralelo, se asume un número de placas para determinar el número de subcorrientes para cada líquido. Así  $n_f$  y  $n_c$  representan las subcorrientes fría y calientes. El número de Reynolds vendrá dado entonces para este caso por la ecuación siguiente:

$$Re = [De (G / n)] / \mu \quad \text{ec. (2.22)}$$

8. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor de cada lado, atendiendo al régimen de flujo.

Coeficiente para flujo turbulento:  $h = 0.2536 (k / De) (Re)^{0.65} (Pr)^{0.4}$

Coefic. Para flujo laminar ( $Re < 400$ ):  $h = 0.742 \text{ cp } G (\text{Rem})^{-0.62} (\text{Prm})^{-0.667} (\mu\text{m} / \mu\text{w})^{0.14}$

El flujo laminar se presenta en fluidos muy viscosos y materiales poliméricos. En la ecuación para el flujo turbulento el diámetro equivalente ( $De$ ) es definido como:

$$\text{Diámetro equivalente } De = (4W) / (2W + 2b) \quad \text{ec. (2.23)}$$

En esta ecuación por lo general el  $De$  resulta igual a  $2b$ , dado que la separación entre placas ( $b$ ) es despreciable frente al ancho ( $W$ ) de las mismas.

9. Cálculo del coeficiente total de transferencia de calor  $Ks$

10. Cálculo de la superficie total de transferencia de calor  $At$

### Capítulo 3. Análisis de los resultados

En este capítulo se mostraran los resultados obtenidos de la propuesta de obtención de la bebida energética y nutritiva a partir de piña y moringa. Para darle cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos en la investigación, siguiendo los diferentes métodos de trabajo descritos en el capítulo anterior, se selecciona el filtro que cumple con los requerimientos del proceso, se diseña el intercambiador de calor que más se usa en este tipo de proceso, se selecciona la bomba a utilizar para el trasiego de agua, se determinan los flujos que la propuesta genera y se analizan los resultados obtenidos.

#### 3.1. Resultados del balance de masa y energía que cuantifican los flujos del proceso.

##### Para determinar la materia prima del proceso

- ✓ La cantidad de piña necesaria para producir 30 litros de bebida según Marrero (2016) es de 7.5 kilogramos de piña y para la misma cantidad de bebida se necesitan también 1.5 kilogramos de moringa.
- ✓ Pues basándonos en esta relación tenemos que para abastecer lo que queremos producir que son 500 litros de bebida necesitamos 125 kilogramos de piña y 25 de moringa.

- ✓ Además necesitamos una cantidad de agua para producir la cantidad de bebida deseada (500L o 0.5m<sup>3</sup>) para ello Marrero( 2016) plantea también que para la producción de 30 litros la cantidad de agua es de 40 litros, por lo que tenemos que para nuestro proceso necesitamos 666.6 litros de agua.

Para la etapa de lavado

- ✓ La cantidad de agua necesaria para el lavado de los frutos según Chiang, (1987) es de cinco litros de agua por cada kilogramo de piña.
- ✓ Por lo que para el lavado de la piña necesitamos un  $V(\text{agua})_{\text{lavado}}$  igual a 0.625m<sup>3</sup>/h

Para realizar un análisis más organizado de los flujos del proceso la siguiente tabla muestra los resultados obtenidos mediante las ecuaciones que se muestran en el epígrafe 2.3.

Tabla 3.1- Resultados de los balances de masa y energía.

<b>Etapas</b>	<b>Flujos (kg/h)</b>	<b>Corrientes</b>	<b>Ecuación</b>
Recepción y lavado de la piña	622.3	Agua de lavado	
Molienda	125 25 506.7	Piña Moringa Agua de molienda	2.3
Maceración	0.692	Pulpa	2.1
Filtración	0.51 0.182	Licor macerado Torta	2.2
Enfriamiento	0.41	Agua de enfriamiento	2.4
Carbonatación	0.51	Bebida energética y nutritiva	



### Datos utilizados en los balances:

- $BEN = Q = 500L/h = 0.5m^3/h = 0.51kg/h$
- Composición de agua en la bebida = 100%
- Composición de agua en la torta = 5%
- Composición de agua en la pulpa = 75%
- Composición de sólidos en torta = 95 %
- Composición de sólidos en la pulpa = 25%
- $Cp.( \text{agua} ) \text{ de } 20\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C} = 4,178 \text{ kJ/ kg}^{\circ}\text{K}$
- $Cp.( \text{soluciones azucaradas} ) = 1.07 \text{ kJ/ kg}^{\circ}\text{K}$

### **3.2. Resultado del diseño del filtro**

Posterior a los análisis obtenidos de la bebida, se procedió a estimar las características que debe tener el filtro prensa. Los datos buscados en la bibliografía fueron que las placas debían ser de 20x20 cm, ya que el filtro debe ser capaz de procesar al menos 500L/h de bebida. Como no se cuenta con un filtro en los que se pueda medir la diferencia de presión que se produce al filtrar la bebida, se considerarán 300 kPa, valor de  $\Delta P$  medido en la tesis de Mendieta y Picado (2002). Valores similares se encuentran en la tesis de la Hoz y Agrames (2015). Con un área de filtración igual a  $0.97m^2$  según la ecuación 2.17 del capítulo anterior.

### **3.3. Resultados del diseño del intercambiador de placas**

Para el diseño del intercambiador de placas se tuvieron en cuenta una serie de parámetros.

### Consideraciones y parámetros del diseño.

- Pérdidas de calor despreciables.
- Medio de calentamiento (agua).
- La separación entre las placas es despreciable frente al ancho para el cálculo del  $De$  (diámetro equivalente).
- Separación entre las placas ( $b$ ) es de 5 mm.

- Espesor de las placas es de 2 mm.
- Ancho de las placas (W) es de 0,25 m.
- Largo de las placas (L) 0,50 mm.
- Se asume flujos a contracorriente.
- Las juntas que se eligieron son de gomas nitrílicas de temperatura hasta 135°C.

Datos para el diseño:

- La temperatura de entrada del licor macerado es de 85 °C
- La temperatura de salida del licor macerado es de 35 °C.
- La temperatura de entrada del agua de 30 ° C.
- La temperatura de salida del agua es de 45 °C.
- Conductividad térmica del agua a la temperatura media es de  $67.4 \cdot 10^{-2}$  W/m °C.
- Conductividad térmica del licor macerado a la temperatura media es de  $64 \cdot 10^{-2}$  W/m°C.
- Gravedad específica de una solución azucarada es de 1.06968.
- El flujo de licor macerado a enfriar es de 0.5 m<sup>3</sup>/h.

Asumiendo todos estos parámetros obtenidos de la búsqueda bibliográfica realizada y de trabajos anteriores y siguiendo la metodología de cálculo que da Raju&Chanden función del factor de corrección (Ft) se arrojaron los resultados siguientes:

1. Cálculo del calor intercambiado:  $q = 0.5457 \text{ kJ/h}$

2. Cálculo de la temperatura de salida del líquido frío:  $T_2 = 45 \text{ °C}$ .

Tabla 3.2 Propiedades físicas de los fluidos a la temperatura media (Perry`s 2008)

Propiedades	Líquido frío	Líquido caliente
Temperatura media	60 °C	37.5 °C
Densidad	1.02 kg/m <sup>3</sup>	0.995 kg/m <sup>3</sup>

Calor específico	1.07 kJ/kg*K	4.178 kJ/kg*K
Viscosidad	153 kJ/m*s	654 kJ/m*s
Conductividad térmica	0,640 W/m*K	0.6280 W/m*K

3. Cálculo de la diferencia de temperaturas media logarítmica  $\Delta t_m = 16.84$

4. Cálculo del NTU (BEN) = 2.96 y el NTU (agua) = 0.89

5. Determinación del factor de corrección de temperatura media  $F_t$ . Para ello se tuvo en cuenta que como el flujo es puramente a contracorriente se asume un  $F_t$  igual a 1

6.  $Re$  (licor macerado) = 45776.5

$Re$  (agua) = 40669

7.  $Pr$  (licor macerado) = 4.5

$Pr$  (agua) = 4.7

8.  $h$  (licor macerado) = 6 966 W/m<sup>2</sup>\*°C

$h$  (agua) = 6 088 W/m<sup>2</sup>\*°C

9.  $K_s = 1409.48$  kcal / h\*m<sup>2</sup>\*°C

10.  $A_t = 0.87$ m<sup>2</sup>

11.  $N$  (placas) = 27

El intercambiador diseñado tiene un área de transferencia de calor de 0.87 m<sup>2</sup>, un número de placas de 27.

### **3.4. Resultados hidrodinámicos del diseño de la bomba para el trasiego del agua**

Con el objetivo de facilitar los cálculos de mecánica de fluido el sistema se divide en dos partes, succión y descarga de la bomba teniendo en cuenta que no hay

variación de las propiedades físicas del fluido por efecto de la variación de temperatura.

#### Succión de la bomba:

- Desde la salida del tanque de almacenamiento de agua hasta la succión de la bomba, consta de una válvula de compuerta, con un diámetro de tubería de dos pulgadas, un codo de 90° estándar, el tanque tiene un volumen de 1530L y la longitud de la tubería es de 8m. (Tramo 1)

#### Descarga de la bomba:

- Desde la descarga de la bomba hasta la entrada al molino consta de dos válvulas de compuerta, una Te y un el diámetro de la tubería es de 1 ¼ pulgadas, y la longitud es de 18m. (Tramo 2)

- Desde la descarga de la bomba hasta la entrada a la lavadora consta de dos válvulas de compuerta, una Te; el diámetro de la tubería es de 1 ¼ pulgadas y la longitud de 20m. (Tramo 3)

Datos necesarios:

- Densidad ( $\rho$ ) del agua (30°C): 995,7 kg/m<sup>3</sup> (Rosabal, 2006). Tabla # 5.
- Viscosidad ( $\mu$ ) del agua (30°C): 0.8 cPs= 0.0008 Pa·s (Rosabal, 2006). Tabla # 5.
- Valor de la aceleración de la gravedad (g): 9,8 m/s<sup>2</sup>.
- Flujo volumétrico (q): 1.53 m<sup>3</sup>/h= 0,0004 m<sup>3</sup>/s.
- Presión de vapor (30°C): 4248 Pa (Rosabal, 2006). Tabla # 16.
- Rugosidad en tubos (e): 0,2 mm= 0,0002 m (Rosabal, 2006). Tabla # 9.
- Diámetro de la tubería en la succión de la bomba: 2 pulgadas = 52.5 mm= 0.0525 m (Rosabal, 2006). Tabla # 10.
- Diámetro de la tubería en la descarga de la bomba: 1 ¼ pulgadas = 35.05 mm= 0,03505 m (Rosabal, 2006).
- Longitud de la tubería de succión 8 m.
- Longitud de la tubería de descarga 18 m.
- Punto # 1: ubicado en el nivel del líquido del tanque agua.

P1= 101325 Pa. (Tanque abierto a la atmósfera)

- Z1= 3 m
- V1 ≈0 m/s (el diámetro del tanque es mucho mayor que el diámetro de la tubería)
- Punto #2: ubicado en la salida de la tubería que descarga al tanque.
- P2= 101325 Pa. (Presión atmosférica).
- Z2= 0

Primer criterio de selección.

La capacidad de la bomba debe ser mayor o igual que el flujo del sistema.

El flujo del sistema es de 1.53 m<sup>3</sup>/h y comparado con la capacidad de la bomba 6 m<sup>3</sup>/h es menor, por tanto se comprueba el cumplimiento del primer criterio de selección.(Anexo 7)

Segundo criterio de selección.

La carga de la bomba debe ser mayor o igual que la del sistema.

Succión:

Tramo 1

Para determinar el área de la tubería de succión se sustituyen los datos convenientes en la ecuación:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{ec. (2.13)}$$

$$A = 0.002133\text{m}^2$$

Conociendo el área y el flujo volumétrico se puede determinar la velocidad del fluido por la ecuación:

$$v = \frac{4q}{\pi D^2} \quad \text{ec. (2.12)}$$

$$v = 0.1875\text{m/s}$$

Teniendo los datos necesarios se determina el régimen del fluido calculando el número de Reynolds según la ecuación:

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu} \quad ec. (2.11)$$

$$Re = 4238932$$

Sustituyendo valores obtenemos un Re de 4238932 por lo que se afirma que el régimen del fluido es turbulento, ya que a Reynolds mayores de 4000 se presenta este tipo de flujo, por tanto:

$$\alpha = 1$$

Teniendo valores de diámetro de la tubería (D), rugosidad en tubos (e) y el número de Reynolds, se calculan las pérdidas por fricción en el sistema.

#### Pérdidas por fricción

Accesorios	K	Cantidad
Codos	0.75	2
Válvula	0.17	1

#### Accesorios

$$H_f = \sum k * \frac{V^2}{2 * g} \quad ec. (2.10)$$

$$H_f = 0.0624\text{m}$$

#### Tuberías:

$$e = 0.0002\text{m (Rosabal Tomo 1)}$$

$$e/D=0.0038$$

$$f=0.026 \text{ (Fig.3.9, Rosabal)}$$

$$h_{f_{tuberías}} = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot d \cdot g} \quad \text{ec. (2.9)}$$

$$H_f = 0.0254 \text{ m}$$

### Descarga

#### Tramo 2

Para determinar el área de la tubería de descarga se sustituyen los datos convenientes en la ecuación:

$$A = \pi \cdot D^2 / 4$$

$$A = 0.000964 \text{ m}^2$$

Conociendo el área y el flujo volumétrico se puede determinar la velocidad del fluido por la ecuación:

$$V = Q / A$$

$$V = 0.41 \text{ m/s}$$

Teniendo los datos necesarios se determina el régimen del fluido calculando el número de Reynolds según la ecuación:

$$Re = \frac{\rho \cdot D \cdot V}{\mu}$$

$$Re = 6349328$$

Sustituyendo valores obtenemos un Re de 6349328 por lo que se afirma que el régimen del fluido es turbulento, ya que a Reynolds mayores de 4000 se presenta este tipo de flujo, por tanto:

$$\alpha = 1$$

Teniendo valores de diámetro de la tubería (D), rugosidad en tubos (e) y el número de Reynolds, se calculan las pérdidas por fricción en el sistema.

### Pérdidas por fricción

#### Tramo 2

Accesorios	K	Cantidad
Te	1	1
Válvulas	0.17	2
codo	0.75	1

Accesorios

$$Hf = \sum k * \frac{V^2}{2 * g}$$

Hf = 0.5834m

Tuberías:

e = 0.0002m (Rosabal Tomo 1)

e/D=0.0057

f=0.032 (Fig.3.9, Rosabal)

$$hf_{tuberías} = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot d \cdot g}$$

Hf= 1.45m

Tramo 3

Accesorios	K	Cantidad
Válvulas	0.17	3
Te	1	2

Accesorios

$$Hf = \sum k * \frac{V^2}{2 * g}$$

Hf = 0.7055m



Tuberías:

$e = 0.0002\text{m}$  (Rosabal Tomo 1)

$e/D=0.0057$

$f=0.032$  (Fig.3.9, Rosabal)

$$hf_{tuberías} = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{2 \cdot d \cdot g}$$

$H_f = 1.46\text{m}$

Perdidas por fricción total

$$\sum H_f (\text{totales}) = (H_{f_{tub}} + H_{f_{acc}})_{succion} + (H_{f_{tub}} + H_{f_{acc}})_{descarga}$$

$$\sum H_f (\text{totales}) = 3.22$$

Se analiza la ecuación del balance mecánico por términos y se despeja la carga de la bomba obteniéndose:

$$H_b = z_2 + \left[ \frac{\alpha_2}{2g} \cdot (v_2^2 - v_1^2) \right] + \left[ \frac{1}{\rho \cdot g} \cdot (P_2 - P_1) \right] + \sum hf_{1-2} - z_1$$

$H_b=5.08\text{m}$

La carga de la bomba (dato de diseño) es igual a 7 m y la carga que debe resistir la bomba en la instalación es de 5.08 m comparando estos valores se corrobora que la bomba es apropiada. (Anexo 7)

Tercer criterio de selección.

Las pérdidas por fricción se calculan antes de la bomba siguiendo la metodología planteada en el Capítulo II.

Las pérdidas por fricción representan un valor igual a 0,087 m

La presión de entrada a la bomba (P3) se calcula por la ecuación 2.15, manteniendo los datos de flujo volumétrico, diámetro de la tubería y accesorios.

Solo cambia la ubicación de uno de los puntos:

- punto #1: ubicado en el nivel del líquido del molino.
- punto #3: ubicado en la tubería a la entrada de la bomba.

Datos necesarios:

$P_1 = 101325 \text{ Pa}$

$Z_1 = 0 \text{ m}$

$Z_3 = 1.3 \text{ m}$

$$P = \rho * g * \left[ \frac{P_1}{\rho * g} + Z_1 + \frac{\alpha * (V_1)^2}{2 * g} + H_b - \left( \frac{\alpha * (V_3)^2}{2 * g} \right) - Z_3 - \sum H_f \right]$$

Eliminando los términos que no intervienen en el balance la ecuación anterior queda:

$$P = \rho * g * \left[ \frac{P_1}{\rho * g} + Z_1 - \left( \frac{\alpha * (V_3)^2}{2 * g} \right) - Z_3 - \sum H_f \right]$$

$P = 158656.93 \text{ Pa}$

El  $NPSH_{\text{sistema}}$  se calcula a continuación por la ecuación 2.14, y se compara con los datos del fabricante.

$$NPSH(\text{sistema}) = \frac{P - P(\text{vapor})}{\rho * g}$$

$NPSH(\text{sistema}) = 7.55 \text{ m}$

Conociendo el  $NPSH$  de diseño (0.42 m), se comprueba que el  $NPSH$  del sistema es mayor, por lo que se afirma que el tercer criterio de selección se cumple.

(Anexo 7)

Después de realizados los cálculos necesarios se puede afirmar que la bomba Elbara bajo la denominación ENR 32-200A se puede emplear en la instalación de la propuesta hecha al sistema de trasiego del agua.

### 3.5 Análisis de los resultados.

1. El tanque de almacenamiento de agua es el adecuado para el proceso ya que es capaz de abastecer el consumo de agua requeridos por los equipos y los 666.6L de agua necesarios para producir los 500L de bebida, con un volumen de 1530L.
2. Según los cálculos de mecánica de fluido la bomba utilizada es adecuada porque cumple con los tres criterios de selección: la capacidad de flujo de la bomba es de 6 m<sup>3</sup> /h y el requerido para el sistema es aproximadamente 0.51 m<sup>3</sup> /h, o sea el de la bomba es mayor que el del sistema. El valor de la carga de la bomba es 12 m y este debe ser mayor o igual que el requerido por el sistema, este criterio se cumple porque al calcular en el balance la carga de la bomba esta es menor (5.08 m). Con respecto a la carga neta de succión positiva (NPSH) de la bomba esta debe ser menor o igual que la del sistema y así se cumple, debido a que el NPSH de la bomba es de 0.42 m y el del sistema es 7,55 m, esto significa que no ocurrirá el fenómeno de cavitación.
3. Para calcular el área de transferencia de calor en el intercambiador se confeccionó una metodología basada en los criterios de cálculos establecidos por Raju&Chanden en función del factor de corrección (Ft) para intercambiadores de placas, utilizando los valores reales de temperatura tanto del agua a la entrada y a la salida (30 °C) y (45 °C) respectivamente como de la bebida (85°C) a la entrada y (35 °C) a la salida , con las propiedades físicas necesarias y el caudal de agua necesario para el enfriamiento de la bebida, con un área de transferencia de calor de 0.87 m<sup>2</sup> y un número de placas de 27.
4. El filtro prensa es el empleado en la industria de las bebidas para la clarificación de la cerveza, filtración de vinos por su variedad de tamaños y fácil manejo, este tiene un área de filtración igual a 0.97 m<sup>2</sup>, la necesaria para procesar un volumen de filtrado igual a 0.5 m<sup>3</sup> por cada ciclo, del cual se obtiene 0.182 kg de solido en la torta con un 5% de humedad.

## **Conclusiones**

1. La modificación del proceso de obtención de la bebida energética y nutritiva a partir de los equipos propuestos para el procesamiento de las materias primas permite solventar el problema científico y dar cumplimiento a los objetivos propuestos en la investigación.

2. El sistema hidráulico cumple con los requerimientos del proceso y la bomba empleada para el trasiego de agua es la adecuada, debido a que cumple con los tres criterios de selección establecidos por la bibliografía.

3. El filtro prensa calculado es el adecuado para este tipo de proceso y los valores obtenidos cumplen con los obtenidos de la bibliografía.

4. El intercambiador de calor seleccionado es el adecuado para el enfriamiento del agua ya que proporciona un área de transferencia de calor mayor que la necesaria para las condiciones requeridas por el proceso.

## **Recomendaciones**

Como resultado de la investigación desarrollada y teniendo en cuenta los diferentes resultados obtenidos, el autor recomienda:

1. Realizar el diseño del sistema hidráulico del resto del proceso.
2. Desarrollar un análisis de los indicadores económicos de la propuesta.
3. Implementar un sistema de control automático que permita controlar las variables de operación.

## Referencias bibliográficas

- Aguirre. E y Castillo. P. (2015). Extracción y Estudio comparativo de las enzimas proteolíticas del fruto del Tronche y la Papaya. Su aplicación Industrial. Revista: Biotecnología de los alimentos.
- Álvarez. (2014). Elaboración y caracterización de dos bebidas proteicas, una a base de quinua malteada y la otra a base de quinua sin maltear Tesis de Diploma. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- American Academy of Pediatrics. (2014). Clinical Report–Sports Drinks and Energy Drinks for Children and Adolescents: Are They Appropriate? [en línea]. [Consultado 13 diciembre de 2015]. Disponible en [www.pediatrics.org](http://www.pediatrics.org)
- American Society of brewing chemist (ASBC). (1986 1992). Methods of Analysis. St. Paul, Minnesota 55121-2097, USA.
- Anele *et al.*, (2008). ‘Early growth and seasonal chemical composition of three indigenous multipurpose tree species (MPTS) in Abeokuta, Nigeria’. *Agroforest Syst.* DOI 10.1007/s10457-007-9101-6 pp 89-98.
- Carrera J. 2002. Módulos de Biotecnología, “Enzimas Industriales, Biorreactores, Variables de Control, Guías de Laboratorio y Biotecnología Agrícola y Vegetal” Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca
- Carbajal, M. (2011). Manual de Nutrición y Dietética. Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.
- Castañe, F.X. (1997). Beer: history, manufacture and properties. *Alimentacion Equipos y Tecnologia*, 16, 41-48
- CODEX STAN 247-2011. Norma general del CODEX para zumos (jugos) y néctares de frutas. [en línea]. [consultado en diciembre de 2015]. Disponible en [www.codexalimentarius.org](http://www.codexalimentarius.org)
- Crespo, L. M. (2013). “Reingeniería del Sistema de Limpieza y Sanitización por el Método CIP para las Envasadoras de Bebidas Gaseosas”.

- Chiang, B.H., Chu, W.C. and Chu, C.L. A pilot scale study for banana starch production, *Starch/Stärke* 39: 5-8, 1987.
- Dalgo, Violeta M. (2012). Obtención de un concentrado con bromelina a partir de piña (*Ananas comosus*), y determinación de su actividad enzimática en sustratos proteínicos. Ecuador. Presentado como requisito previo a la obtención del título de Ingeniera Bioquímica. Universidad técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Carrera de Ingeniería Bioquímica.
- FLORES, J y VILLEGAS, M. 1995. Filtración. Univ. Autónoma Metropolitana, Área de Ingeniería Química. Azcapotzalco, México. 28 p.
- Fuglie LJ 2001. Combating malnutrition with moringa. In: Lowell Fuglie, J. (Ed). *The Miracle Tree: The Multiple Attributes of moringa*. CTA Publication, Wageningen. The Netherlands, pp. 117-136..
- Gacesa P. Y Hubble J. 1990. *Tecnología de la Enzimas*. (Acribia. Zaragoza. España).
- Holman, J.P. 1999. *Transferencia de calor*. México: Continental s.a., 1999. ISBN 0-07-0229618-9
- HOUGH, J. 1990. *Biotecnología de la cerveza y de la malta*. Zaragoza. Editorial Acribia S.A. 126 p.
- IBARZ, A y BARBOSA-CÁNOVAS, G. 2005. *Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos*. Madrid. Editorial Muldi-prensa. 865 p.
- Kenneth J. 1998. *Manual de Bombas, Selección, Uso y Mantenimiento*.
- Kern, Donald Q. 1999. *Procesos de Transferencia de Calor*. México. Editorial Continental S.A
- Kreith, F. *CRC Handbook of Thermal Engineering*. Boca Ratón, FL (USA): CRC Press, 2000.
- Lenarcic B., Ritonja A., Turk B., Dolenc I. and Turk V. 1992. *Characterization and structure of pineapple stem inhibitor of cysteine proteinases*. *Biol. Chem. Hoppe-Seyler* 373:459 – 464
- Melesse A, Bulang M, Kluth H 2009. Evaluating the nutritive values and in vitro degradability characteristics of leaves, seeds and seedpods from

*Moringa stenopetala*. Journal of Science of Food and Agriculture 89:281-287.

- Melesse A, Tiruneh W, Negesse T 2011. Effects of feeding *Moringa stenopetala* leaf meal on nutrient intake and growth performance of Rhode Island Red chicks under tropical climate. Tropical Subtropical Agroecosystems 14:485-492.
- Molina, J.L., 1989. La Cebada, Morfología, Fisiología, Genética, Agronomía y Usos Industriales. Editorial: Ministerio De Agricultura, Pesca Y Alimentación.
- Moyo et al., 2011. Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleífera* Lam.) leaves. African Journal of Biotechnology Vol. 10(60), pp. 12925-12933, DOI: 10.5897/AJB10.1599. Available online at <http://www.academicjournals.org/AJB>
- MCCABE, W; SMITH, J y HARRIOT, P. 2002. Operaciones unitarias en ingeniería química. VI ed. México D.F. Edit. McGraw Hill. 1199 p.
- MENDIETA, R y PICADO, A. 2002. Diseño tecnológico de un sistema separador secador para su utilización en la recuperación de la cerveza residual y posterior secado de la levadura sobrante. Tesis ing. quím. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional de Ingeniería. 117p.
- Manual de bombas centrífugas Ebara. Empresa citrícola "Héroes de Girón" de Jagüey Grande. Matanzas. Cuba.
- Nauman, E.B. 2008. Chemical Reactor Design, Optimization and Scale up. 2nd Ed. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Ogbe, A.O. et al. 2011. Proximate study, mineral and anti-nutrient composition of *Moringa oleífera* leaves harvested from Lafia, Nigeria: potential benefits in poultry nutrition and health Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences.
- Perry R.H., 2008, Perry's Chemical Engineers Handbook(7th Ed.), McGraw-Hill, Inc., New York (USA). Disponible *online*: [http://: qmlib.umcc.cu](http://qmlib.umcc.cu).



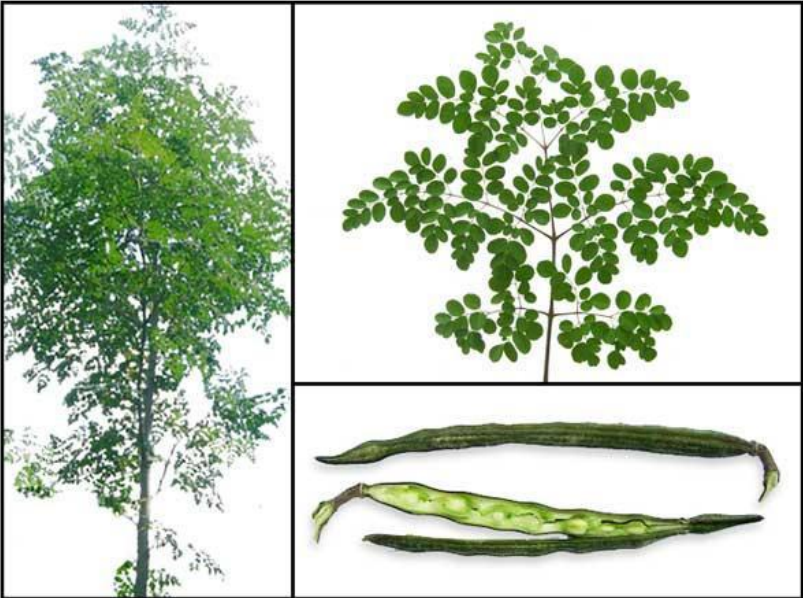
- Ricardo, Y., *et al.* (2013). Propuesta de un procedimiento para la elaboración de Maltinga a escala de banco. Tesis de Diploma. Universidad de Matanzas Cuba.
- Rivera, J., *et al.* (2008). Consumo de bebidas para una vida saludable: recomendaciones para la población mexicana. *Revista salud pública de México. Vol. 50, no.2.*
- Roberts, W. (2014) Beverages always have been a source of refreshment, but developments with energy drinks and sports beverages are pushing the boundaries to include fortification, as well as physical and mental pick-me-ups.
- Roussos, A., *et al.* (2014). Bebidas energizantes y su consumo en adolescentes. *Revista Nutrición. Vol 10, No. 2*
- Rowan, A., *et al.* (1988). Stem bromelain. Handbook of Proteolytic Enzymes. UK: Academic Press, pp 566-572. 1998.
- Rosabal J, M. 2006.*Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas*, Félix Varela, La Habana, Cuba, Tomo 2.
- Rufino, P. M. (2013). Bebidas no alcohólicas. Programa Senior Bromatología. Universidad de Cantabria, España.
- Sanders, G. S. 2010, "Obtención de vinagre a partir de residuos de la industria cervecera a escala piloto en la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos."Universidad de Matanzas. Facultad de Ingeniería Química.
- Salvador, R. (2013). Consumo de bebidas energéticas en una población de estudiantes universitarios del estado de Tabasco, México. *Revista Salud en Tabasco. Vol 19, No.1.*
- Sanchez, N; Ledin, S. (2006). Biomass production and chemical composition of *Moringa oleífera* under different management regimes in Nicaragua. *Agroforestry Systems* 66(3):231-242.
- Santos, A., *et al.* (2009). *Estudios bioquímicos da enzima bromelina do Ananas comosus (abacaxi)*. 11, Sao Cristobal: Sciential Plena, novembro 2009, Vol. 5.

- Schieber, A.; Stintzing, F & Carle, R. (2009) By-products of plant food processing as a source of functional compounds - recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 12, 401-413.
- Soliva, CR, Kreuzer, M, Foidl, N, Foidl, G, Machmüller, A and Hess HD. 2005. Feeding value of whole and extracted *Moringa oleifera* leaves for ruminants and their effects on ruminal fermentation in vitro. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118:47-62
- Tamayo, M. 2014. Escalado y construcción de un reactor enchaquetado con agitación. Tesis de Diploma. Universidad de Matanzas. Cuba.
- Tysnes, P., *et al.* (2001). Bromelain reversibly inhibits invasive properties of glioma cells. *Neoplasia* 3: 469-479 editorial
- Ubeda, A., *et al.* (2014) Análisis del perfil de azúcares en la autenticación de zumos de frutas. Trabajo Diploma. Universidad de Cartagena. Colombia.
- Verhoef, Berfy. (2003). La enciclopedia de la cerveza.
- Villaamil, C. (2005). Las bebidas energizantes. *Revista Ata Informa*. Año 19, Números 67/68.
- Walas, S. M. *et al.* (2010). Chemical process equipment. Selection and design. 2<sup>nd</sup> Ed Elsevier.
- Watt, J.M. & Breyer-Brandwijk, M.G., 1962. The Medicinal and Poisonous Plants of Southern and Eastern Africa, 2nd ed. Pub: E&S Livingstone.
- Whitaker, J. (2000). Proteolytic Enzymes. Handbook of food enzymology (págs: 999-1012). New York Basel: Marcel Dekker, INC.
- Wiseman, A. (1985). Manual de biotecnología de las enzimas. Segunda edición. Págs 48-63. Ed: Acriba S.A. Zaragoza-España.
- Yang, R., *et al.* (2006). Nutritional and Functional Properties of Moringa Leaves: From Germplasm, to Plant, to Food, to Health. In: Moringa and other highly nutritious plant resources: Strategies, standards and markets for a better impact on nutrition in Africa. Accra, Ghana
- Yamada, F., *et al.* (1976). *J. Biochem.* (Tokyo) 79: 1223-1234.
- Yépez, M. V. (2007). Tesis Elaboración de una bebida nutritiva a partir del malteado de quinua. Loja: Universidad Tecnológica Equinoccial.

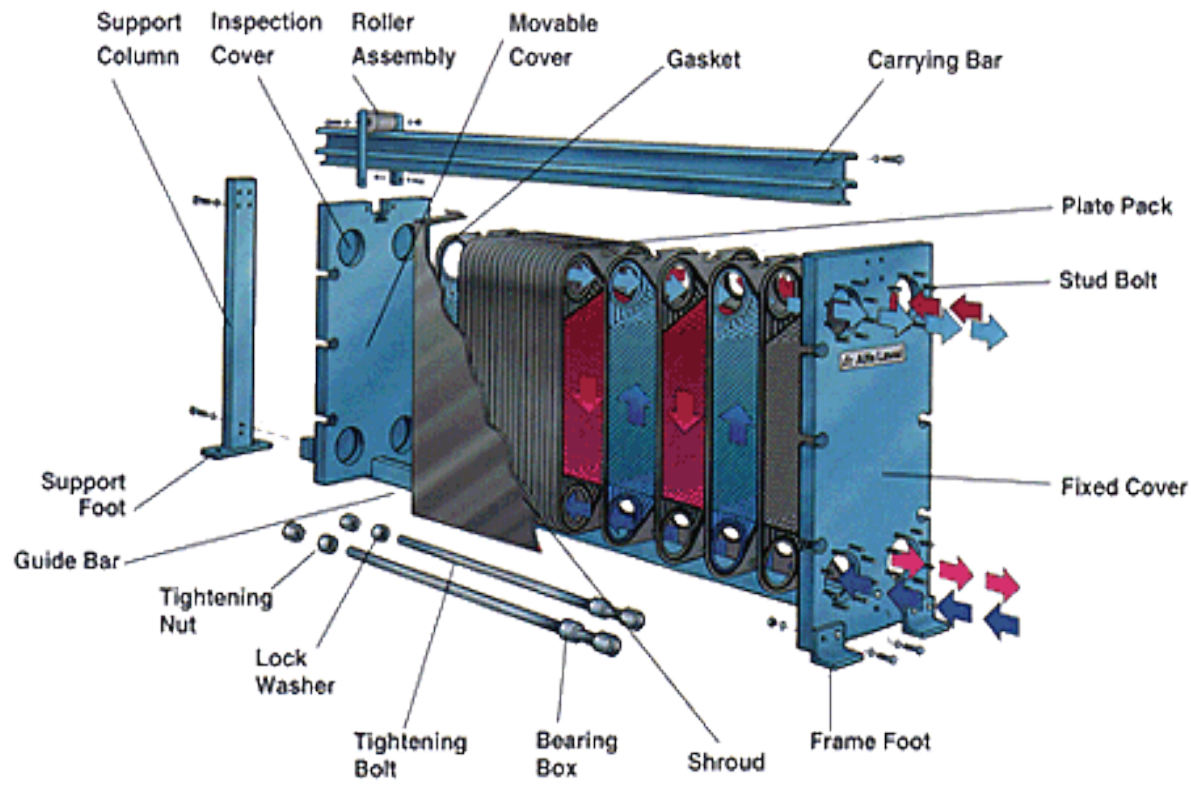
- Zhao, J.H. *et al.* 2012. Bioactive secondary metabolites from *Nigrosporasp.* LLGLM003, an endophytic fungus of the medicinal plant *Moringa oleifera*. *World J Microbiol Biotechnol* 28:2107–2112

**Anexos**

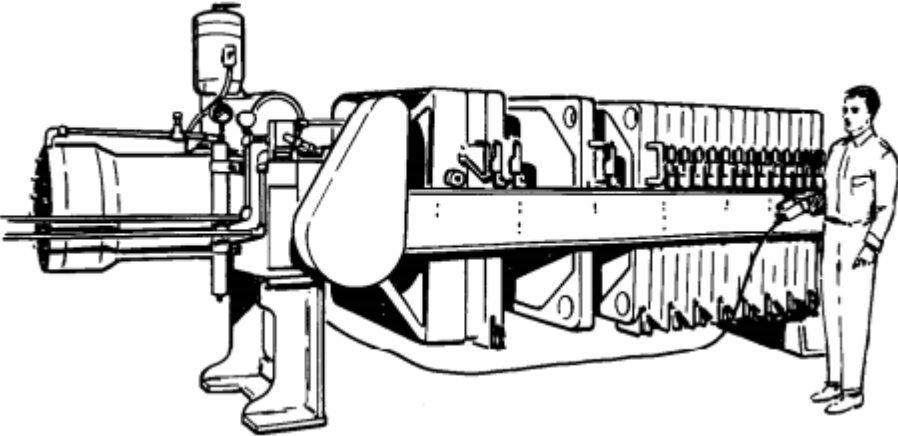
**Anexo 1. Moringa oleifera**



## Anexo 2. Intercambiador de placas



**Anexo 3.** Equipo automático de filtro prensa (filtración con descarga cerrada).



**Anexo 4. Sistema de filtro prensa con incorporación de bomba a escala de planta piloto**



## Anexo 6: Curvas características



**ENR (1.450 r.p.m.)**

---

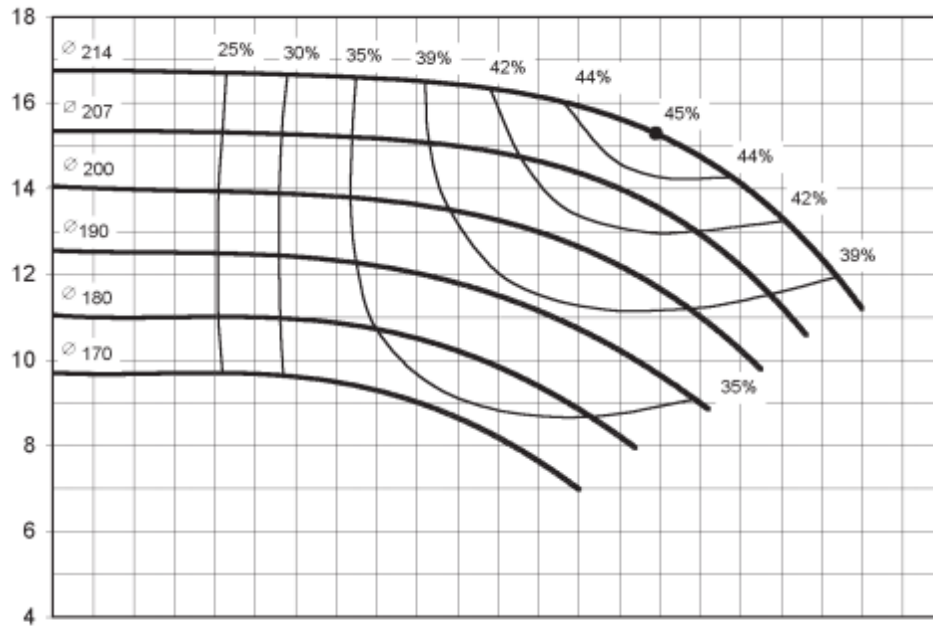
**ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA** normalizada según EN 733 (DIN 24255) / **CENTRIFUGAL PUMP** according to EN 733 (DIN 24255)

**CURVAS DE CARACTERÍSTICAS / PERFORMANCE CURVES** (ISO 9906 / 2)

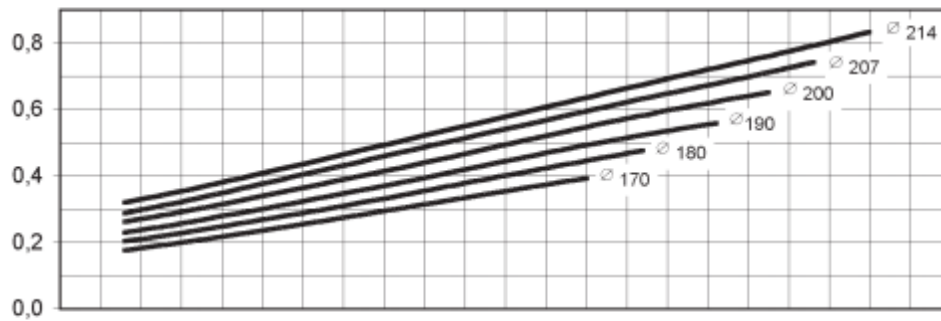


32-200A

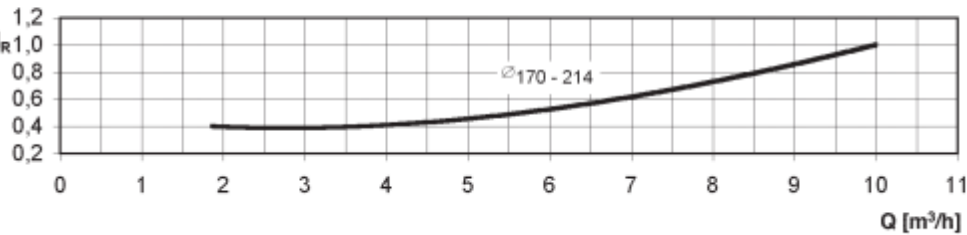
H  
[m]



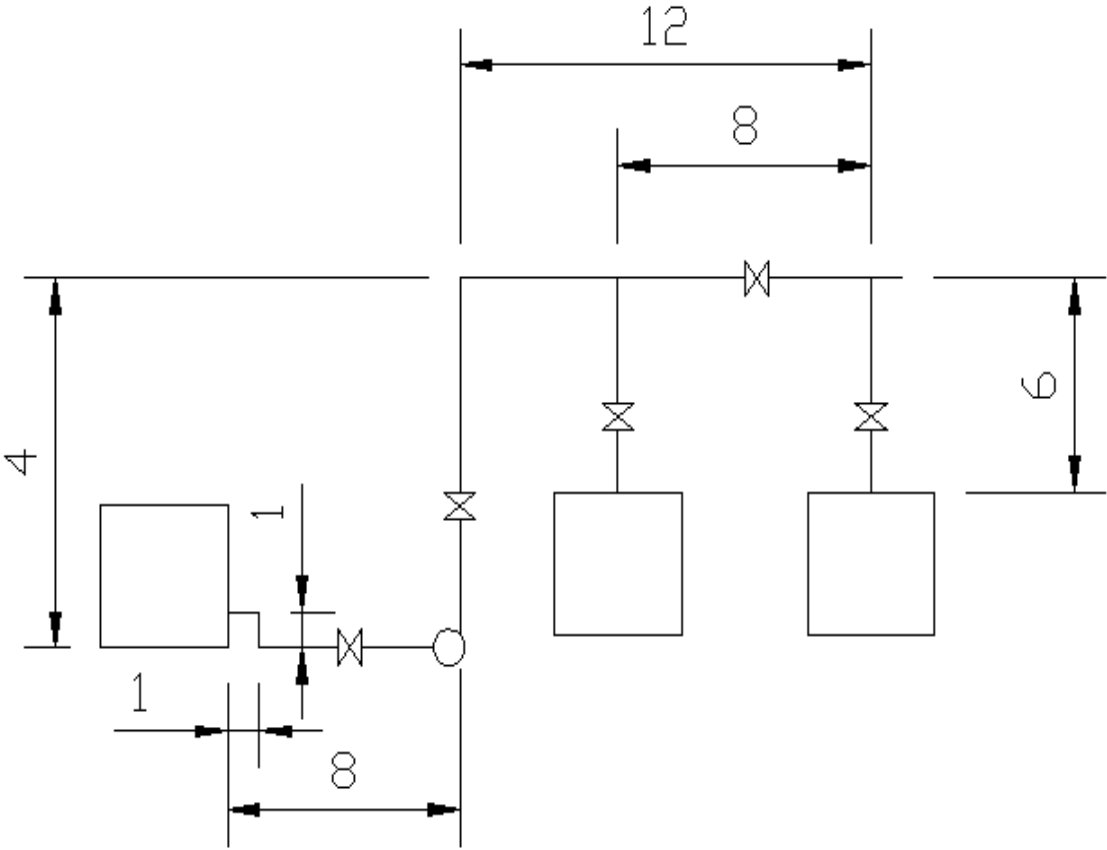
P  
[kW]



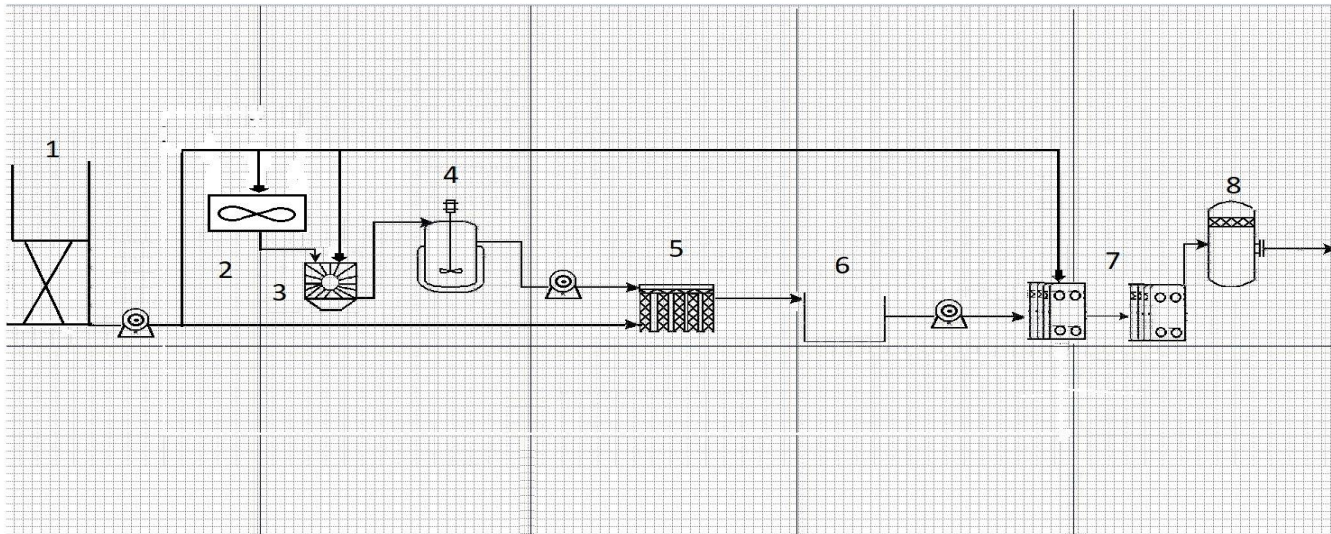
NPSH<sub>R</sub>  
[m]



Anexo 7 : Sistema hidraulico del trasiego de agua para el procesaminto de la materia prima .



## Anexo 8 : Esquema del proceso .



1(tanque de almacenamiento de agua)  
2 (lavadora de paleta)  
3(molino)

4(macerador)  
5(filtro prensa)  
6(tanque de almacenamiento del licor macerado)

7(intercambiadores de calor)  
8(carbonatador)

