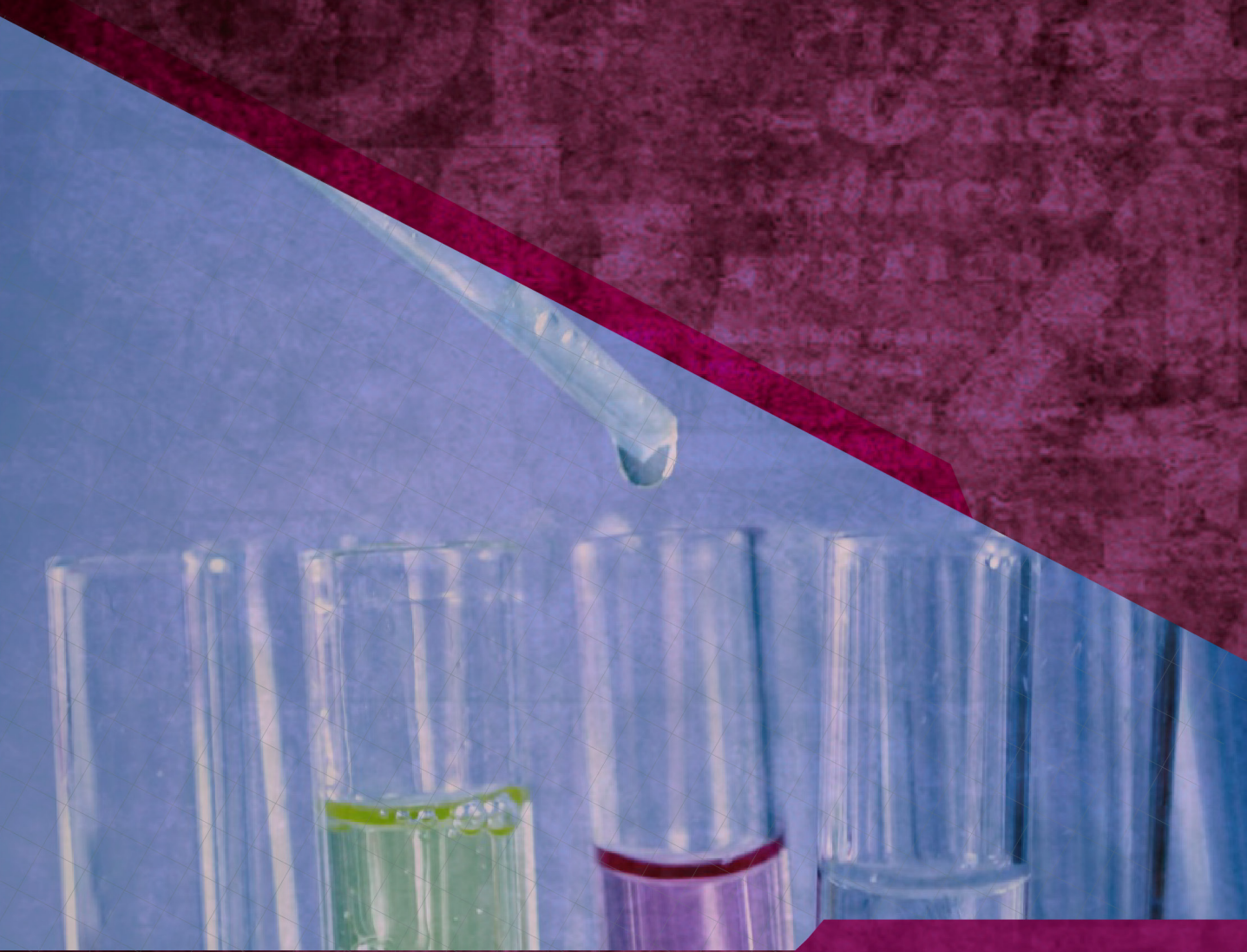


“FUNDAMENTOS BÁSICOS DE CÁLCULOS DE INGENIERÍA QUÍMICA CON ENFOQUE EN ALIMENTOS”

LUIS CEDEÑO SARES



 Editorial
UTMACH

REDES 2017
COLECCIÓN EDITORIAL



Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería química con enfoque en alimentos

Luis Cedeño Sares

Coordinador



Primera edición en español, 2018

Este texto ha sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa editorial de la UTMACH

Ediciones UTMACH

Gestión de proyectos editoriales universitarios

165 pag; 22X19cm - (Colección REDES 2017)

Título: Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería química con enfoque en alimentos. / Luis Cedeño Sares (Coordinador)

ISBN: 978-9942-24-118-4

Publicación digital

Título del libro: Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería química con enfoque en alimentos.

ISBN: 978-9942-24-118-4

Comentarios y sugerencias: editorial@utmachala.edu.ec

Diseño de portada: MZ Diseño Editorial

Diagramación: MZ Diseño Editorial

Diseño y comunicación digital: Jorge Maza Córdova, Ms.

© Editorial UTMACH, 2018

© Luis Cedeño, por la coordinación

D.R. © UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA, 2018

Km. 5 1/2 Vía Machala Pasaje

www.utmachala.edu.ec

Machala - Ecuador

Advertencia: “Se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, existente o por existir, sin el permiso previo por escrito del titular de los derechos correspondientes”.



César Quezada Abad, Ph.D

Rector

Amarilis Borja Herrera, Ph.D

Vicerrectora Académica

Jhonny Pérez Rodríguez, Ph.D

Vicerrector Administrativo

COORDINACIÓN EDITORIAL

Tomás Fontaines-Ruiz, Ph.D

Director de investigación

Karina Lozano Zambrano, Ing.

Jefe Editor

Elida Rivero Rodríguez, Ph.D

Roberto Aguirre Fernández, Ph.D

Eduardo Tusa Jumbo, Msc.

Irán Rodríguez Delgado, Ms.

Sandy Soto Armijos, M.Sc.

Raquel Tinóco Egas, Msc.

Gissela León García, Mgs.

Sixto Chilinguina Villacis, Mgs.

Consejo Editorial

Jorge Maza Córdova, Ms.

Fernanda Tusa Jumbo, Ph.D

Karla Ibañez Bustos, Ing.

Comisión de apoyo editorial

Índice

Capítulo I

Aspectos básicos del Balance de Materia	16
Raúl Díaz Torres	

Capítulo II

El balance de materia	44
Raúl Díaz Torres	

Capítulo III

Balance de Materia en proceso de secado, deshidratación y concentración de jugos	66
Luis Cedeño Sares; Carmen Llerena Ramírez	

Capítulo IV

Balance de Materia en procesamiento de jaleas y mermeladas 89

Luis Cedeño Sares

Capítulo V

Balance de Materia en procesamiento de embutidos, recirculación, método del triangulo 114

Raúl Díaz Torres; Carmen Llerena Ramírez

Capítulo VI

Balance de Materia y energía en procesos térmicos 134

Luis Cedeño Sares; Carmen Llerena Ramírez; Sócrates Palacios Ponce

Dedicatoria

A mi esposa, Jackie.

A mis amigos y a todos aquellos que fueron mis estudiantes y me animaron a realizar este trabajo

Raúl Díaz Torres

A Dios, mi esposa, familiares y colaboradores que he tenido la agrado de conocer y que ayudaron a desarrollar esta obra.

Luis Cedeño Sares

A mi madrecita que ahora está en el cielo, pero siempre me acompañó en todas las actividades que he realizado en mi vida personal y profesional.

Carmen Llerena Ramirez.

A Dios, mi madre, mi hermana, a mis maestros nacionales y del extranjero que me han formado y a los amigos de mi país y del extranjero que he tenido la dicha de conocer.

Sócrates Palacios Ponce.

Prologo

Uno de los principales objetivos de la industria alimentaria es transformar, mediante una serie de operaciones, diversas materias primas de origen agrícola, pecuario u otro, en alimentos aptos para el consumo con la menor pérdida posible de cantidad y calidad. Para esto, se emplean muchos tipos diferentes de equipos, organizados en varias etapas, para alcanzar las transformaciones deseadas. El cálculo y diseño eficiente de cada una de estas etapas, es uno de los propósitos principales de la industria de alimentos.

Independientemente de la tecnología en específico que sea utilizada en estos procesos de transformación, esta tecnología estará constituida por una serie de operaciones unitarias como el mezclado, la transferencia de calor, el flujo de materiales, etc. Sin embargo, un elemento común en todo el proceso, es la conservación de la materia a lo largo de todas las transformaciones que ocurran. La comprensión y aplicación correcta de este principio, es una premisa para el buen funcionamiento de la industria y también para lograr la eficiencia económica que tanto se persigue.

El presente texto ha sido elaborado con la intención de ayudar a aquellos estudiantes que se enfrentan con estos procesos tanto para la carrera de ingeniería química como inge-

nería en alimentos, cuya intención es detallar de la mejor manera la comprensión de algunos de los aspectos básicos que rigen el procesamiento de los alimentos. Para ello, en cada capítulo se presentan no solo los principios básicos y las ecuaciones que los rigen, sino también ejemplos resueltos relacionados con los principios explicados.

Los dos primeros capítulos están dirigidos a exponer y ejemplificar los fundamentos del empleo correcto de los sistemas de unidades y del balance de masa como expresión de la ley de conservación de la materia, mientras que los restantes capítulos exponen casos particulares de este uso.

Los autores esperamos que este libro sea útil como referencia para los estudiantes de tecnología de alimentos y como un texto para estudiantes que quieran profundizar en este campo.

Introducción

Importancia de la industria alimentaria.

La industria de los alimentos se mueve a gran velocidad para hacer frente al aumento de la población mundial, paralelamente los avances en la agricultura están proporcionando tecnologías agrícolas que dan lugar al rendimiento de la producción de alimentos. La necesidad de alimentos para satisfacer a una población en constante crecimiento no solo está determinada por obtener alimentos seguros, sino también de alta calidad, con el fin de proporcionar salud. Los aspectos más relevantes en la industria de alimentos son: producción y disponibilidad de alimentos, inocuidad de los alimentos, calidad e innovación; esto se origina que en el procesado de alimentos en donde las materias primas son tratadas mediante muchas operaciones de procesos conformados en etapas, que llegan a cambiar la composición química y/o su nivel energético, requieran esfuerzos de ingeniería importante para adecuarse a las demandas de calidad, seguridad, funcionabilidad y durabilidad del producto alimentario obtenido (Singh, 2009), permitiendo una variedad de productos convencionales y funcionales.

Las tendencias mundiales de la alimentación en los últimos años indican un interés marcado de los consumidores en seleccionar ciertos alimentos, que aporten valor nutritivo y beneficios a las funciones fisiológicas del organismo humano. Estas variaciones en los patrones de alimentación generaron unas nuevas áreas de desarrollo en las ciencias de los alimentos, permitiendo el adelanto de la industria de esta área. En la actualidad, se observa una clara preocupación en nuestra sociedad por la posible relación entre el estado de salud personal y la alimentación que se recibe; incluso se acepta sin protesta que la salud es un bien preferentemente controlable a través de la alimentación, por lo que se detecta en el mercado alimentario una evidente preferencia por aquellos alimentos que se anuncian como benéficos para la salud (Aiello, 2011). Entre estos productos tenemos a los mínimamente procesados, que es una tecnología en la industria alimentaria con la finalidad de obtener productos seguros y frescos, que conserven sus cualidades nutricionales y organolépticas permitiendo alargar la vida útil de los mismos; lo que permite satisfacer los gustos del consumidor, ello está asociada a cambios en los hábitos de consumo. (Herrero, & de Avila, 2006). Otro ejemplo definido de la importancia de la industria alimentaria, es la industria láctea; siendo uno de las secciones más importantes de la economía de países industrializados y en desarrollo. Alrededor del 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es descartada como lactosuero, en cuya composición se encuentra el 55% del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales. Debido a la gran cantidad de lactosuero que se produce a nivel mundial, se han propuesto numerosas alternativas para la utilización de este residuo ya que alrededor del 30 % del lactosuero producido permanece subutilizado (Alonso, Rendueles & Díaz, 2011) y otra gran cantidad es empleada en la alimentación animal (Ling Jiang, 2015). Estos valores representan anualmente 110-115 millones de toneladas métricas de lactosuero que son producidas a nivel mundial a través de la elaboración de queso (Parra Huertas, 2009).

Debe considerarse que actualmente las industrias alimentarias no solo son valoradas por su desempeño productivo y económico, sino también por su relación con el ambiente, de manera que la protección de este ha pasado de ser una exigencia sujeta a multas o sanciones a una situación donde representa amenazas y oportunidades y hasta condiciona su permanencia o salida del mercado, de manera que la utilización eficaz, de bajo costo y ecológicamente racional de estos subproductos materiales es cada vez más importante, no solo por las restricciones legales que ya empiezan a surtir efecto en muchos países, sino también por un problema de defensa de nuestro amenazado planeta (Cury et al, 2017).

Procesos.

La industria alimentaria requiere hombres y maquinarias para procesar los productos de origen agrícolas, o naturales en general; en un sentido en un sentido amplio, esta industria pertenece a los llamados procesos de manufactura que se define como el proceso de convertir materias primas en productos terminados; también comprende los procesos de obtención de otros productos mediante la transformación de un primer producto terminado; para transformar la materia prima de origen alimentario se ejecutan pasos relacionados entre sí. A esta secuencia se llama proceso; los procesos a los que continuamente ingresa y de los que se obtienen materiales y/o productos elaborados, reciben el nombre de procesos continuos; existe otro tipo de proceso en el cual se adiciona el material alimentario a procesar en un equipo, se desarrolla un tiempo de transformación físico, químico o biológico y luego se evacúa del equipo como producto terminado, el cual es trasladado al almacén de despacho; o es utilizado en otra etapa de procesamiento en caso de ser semielaborado. Estos procesos son intermitentes. En los procesos continuos siempre se fabrica el mismo tipo de productos en las mismas condiciones de temperatura, presión y composición, así como a la misma velocidad o gasto. Los procesos en la industria alimentaria moderna son, por lo general, continuos, pues de esta manera se automatizan garantizándose así una producción con calidad continua y uniforme. (Groover, 1997)

En este libro se presentan las herramientas básicas necesarias para la comprensión de las Operaciones de procesamiento de alimentos, que fundamenta a la Ingeniería de alimentos; ya que esta integra a las disciplinas clásicas de la ingeniería, como es la termodinámica, flujos de fluidos, química física, operaciones industriales, biológicos, etc.; que se integran para el estudio de las tecnologías de transformación de materias primas alimentarias, entender la ingeniería que subyace tras los procesos alimentarios tiene una importancia fundamental en el crecimiento de la industria y paralelamente en la educación en la ciencia de los alimentos.

El libro está dirigido a estudiantes, investigadores, ingenieros en alimentos, ingenieros químicos con especialización en el área del procesamiento de alimentos; y aquellas personas interesadas en el área de procesamiento agroindustrial y alimentario en general. En él se presenta información relevante en aspectos de cálculos aplicados a la ingeniería de alimentos e ingeniería química con énfasis en el procesado de alimentos, esta obra es la base para el fundamento de los balances de materias y energía a desarrollarse en las tecnologías del procesado de alimentos.

Referencia bibliográfica

- Aiello, M. (2011). Functional Foods: Between New Consumption Trends and Renewed Perceptions of Health. *Italian Sociological Review*, 5.
- Alonso, S., Rendueles, M., & Díaz, M. (2011). Efficient lactobionic acid production from whey by *Pseudomonas taetrolens* under pH-shift conditions. *Bioresource technology*, 102(20), 9730-9736.
- Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R., & Ch, L. C. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 9(S), 122-132.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. Naulcapan de Juárez, Estado de Mexico: PRENTICE HALL HISPANOAMERICANA S.A.
- Herrero, A. M., & de Avila, M. H. (2016). Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de Medicina de la Universidad de Navarra*, 50(4), 71.
- Ling Jiang, H. C. (2015). Enhanced propionic acid production from whey lactose with immobilized *Propionibacterium acidipropionici* and the role of trehalose synthesis in acid tolerance. *Green Chemistry*, 250-259.
- Parra Huertas, R. A. (2009). Lactosuero: importancia en la industria de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 62(1).

04 Capítulo Balance de materia en procesamiento de jaleas y mermeladas.

Luis Cedeño Sares

Procesamiento de mermeladas.

En la actualidad, la predisposición general en el consumo de alimentos es indagar un buen aporte de nutrientes así como los beneficios que proporcionen para la salud; en el procesamiento de alimentos, la tecnología de concentración de pulpas está relacionada a la evaporación del agua y una rebaja de su actividad acuosa; tal es el caso del proceso tecnológico de la elaboración de mermeladas, en donde intervienen conjuntamente otros adjuntos a la conservación de la misma: el uso de conservadores, alto aporte de acidez en la formulación, alta concentración de azúcar y tratamiento térmico, estos son parámetros técnicos a considerar en el procesamiento (Melva López Orozco, 2011).

Luis Cedeño Sares: Ingeniero Químico y Master en Ciencia Alimentaria; Docente de la UTMACH desde el 2010, en carreras de Ingeniería Química e Ingeniería en Alimentos; colaborador en proyectos de investigación en temas de carbón activado y recubrimientos comestibles; experiencia en industria de alimentos como Jefe de Calidad y Microbiología.

La mermelada puede ser definida como la confitura elaborada por cocción de frutas u hortalizas (enteras, en trozos, pulpa tamizada, jugo y pulpa normal, o concentrada), con uno o más edulcorantes (Olivares La Madrid & Valdiviezo, 2015); siendo una técnica para la conservación de frutas; esta es una mezcla de la pulpa fruta y azúcar agregada con la pectina presente o adicionada, para formar un gel al alcanzar la mezcla los 65 °Brix (65% de azúcar) y acidez del 1%, con un contenido total de pectina de 1%. En casos de materias primas poco ácidas y de bajo contenido de pectina, se hace indispensable incorporar ácido y pectina exógenos, que le conceden al producto una naturaleza especial; cuando se ha alcanzado la concentración en grados Brix (65°brix) necesarios mediante el proceso de cocción existe una pérdida de masa en la mezcla debido al cambio en la fase del agua por evaporación. En general la normativa ecuatoriana define el concepto de mermelada considerando como base a las características de los frutos, es decir un producto preparado solamente con una sola fruta cítrica o no cítrica así como una mezcla de frutas cítricas, elaborado hasta adquirir una consistencia. Puede ser preparada con uno o más de los siguientes ingredientes: fruta(s) entera(s) o en trozos, con o sin cáscaras, pulpa(s), puré(s), zumo(s), jugo(s), extractos acuosos y cáscara que confieran un sabor dulce. Así mismo pueden ser elaboradas sin aporte de frutos cítricos es decir con a partir fruta(s) entera(s), en trozos o machacadas, mezcladas con productos alimentarios que confieren un sabor dulce hasta obtener un producto semi-líquido o espeso/viscoso; y mermelada tipo jalea, de la que se le han eliminado todos los sólidos insolubles pero que puede o no contener una pequeña proporción de cáscara finamente cortada. (INEN, 2013).

En el procesamiento de este tipo de productos existen varios factores que afectan la calidad del producto procesado, en especial en las tecnologías artesanales, entre ellos se pueden mencionar los concernientes a la fruta (variedad, condiciones sanitarias, estado de maduración, zona de procedencia, forma de cultivo, etc.); la cuantía de materia prima utilizada y las proporciones de ingredientes (fruta, azúcar,

pectina y ácidos); la forma aplicada (entera, trozos, triturada, en pasta, disolución, líquido o polvo); el mezclado y grado de homogeneización alcanzado durante la cocción; y el tiempo y temperatura del proceso de cocción. (M. Nunes Damaceno, 2007); por lo cual las formulaciones empleadas en el proceso de fabricación están compuestas por varios constituyentes que juntos contribuyen a lograr las cualidades peculiares del producto terminado. Estos factores son:

- Sólidos solubles del producto terminado (expresados como °Brix)
- El óptimo de azúcar invertido y,
- Acidez total y el pH del producto.

Otros factores importantes que son inherentes al proceso son las características fisicoquímicas de la fruta, las características de la pectina y el agua, que constituyen variables que inducen un continuo adaptamiento y ajuste de las fórmulas de elaboración, tarea a cargo del experto experimentado en la preparación de este tipo de conservas.

- Los ingredientes normalmente utilizados son:
- Frutas enteras zumos y pulpas de frutas.
- Edulcorantes (sacarosa, dextrosa o jarabe de glucosa).
- Pectinas.
- Ácidos cítricos, láctico, tartárico, málico y/o ascórbico.
- Anhídrido sulfuroso en una proporción máxima de 50 mg/kg. de producto.
- Ácido benzoico, ácido sórbico, benzoato o sorbato de sodio, potasio, o calcio o la mezcla de dos o más de ellos, hasta un contenido máximo total de 1 gr./kg. de producto, expresado como ácido benzoico o ácido ascórbico. (CODEX STAN, 2009).
- Agentes antiespumantes para evitar la formación de espuma durante el calentamiento.

- Espesantes naturales tales como agar-agar, goma de garrofín, alginatos y carragenatos.
- Colorantes, esencias y aromatizantes permitidos.

Tabla No 1. Aditivos Alimentarios.

Reguladores de acidez

Nombre del aditivo alimentario	Dosis máxima
Tartratos	3.000 mg/Kg.
Antiespumante	
Nombre del aditivo alimentario	Dosis máxima
Polidimetilsiloxano	10 mg/Kg
Colorantes	
Nombre del aditivo alimentario	Dosis máxima
Curcumina	500 mg/kg
Riboflavinas	200 mg/kg
Amarillo de quinoleina	100 mg/kg
Amarillo ocaso FCF	300 mg/kg
Carmines	200 mg/kg
Rojo allura AC	100 mg/kg
Clorofilas y clorofilinas, complejos cúpricos	200 mg/kg
Verde sólido FCF	400 mg/kg
Carotenos, beta-, vegetales	1.000 mg/kg
Licopenos	100 mg/kg

Fuente: Norma CODEX para confituras, jaleas y mermeladas (CODEX STAN 296-2009).

En la tabla 1 se detallan los aditivos alimentarios (reguladores de acidez, antiespumante y colorantes) comúnmente usados para el procesamiento confituras, jaleas y mermeladas.

La jalea por su parte es un producto preparado por la cocción de zumos de frutas clarificados y azúcares hasta conseguir una consistencia de gel, que podrán incluirse algunos

trozos de frutas; otra definición en base al Codex alimentario se define como el producto preparado con el zumo (jugo) y/o extractos acuosos de una o más frutas, mezclado con productos alimentarios que confieren un sabor dulce, con o sin la adición de agua y elaborado hasta adquirir una consistencia gelatinosa semisólida (CODEX STAN, 2009). Las jaleas de frutas cítricas pueden llevar tiras de cortezas y se pueden obtener a partir de extractos de pulpas y cortezas.

En general los azúcares más usados, son la sacarosa, glucosa, jarabe invertido y mieles, cuya principal función es contribuir a que se lleve a cabo la gelificación final, para lo que se añade gelificantes, tanto para aumentar la concentración de agentes naturalmente presentes en la fruta o bien para compensar su ausencia. Los gelificantes principalmente utilizados en la industria son: pectinas, agar-agar, goma arábiga o guar. Entre éstos, la pectina presenta mayor aceptación por estar naturalmente presente en muchas de las frutas. Es un polímero del ácido galacturónico, hidrocoloide que en solución acuosa presenta propiedades espesantes, estabilizantes y sobre todo gelificantes (Maldonado & Singh, 2008)

Para el caso particular de las mermeladas, el contenido mínimo en frutas de las mismas debe representar el 30% del peso. Si se mezclan varias frutas, el contenido de la fruta declarada en el etiquetado debe ser en primer lugar la proporción del 50 al 75% de frutas.

Los sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles varía desde 60 a 68,5%. El rendimiento teórico de una formulación está calculado sobre el total de la materia sólida de los componentes, cuyos valores no sufren variaciones con la cocción.

El tratamiento térmico (cocción), permite la concentración de azúcares tanto por la eliminación del agua, así como por la inversión de la sacarosa. En un producto con un valor teórico del 65 % de sólidos solubles y con el 30% de sacarosa invertido, el incremento de las sustancias sólidas es de cerca

del 1% del peso del producto terminado, resultando así un valor real de sólidos solubles del 66%, este aumento es considerado como un margen de seguridad.

La cantidad de azúcar invertido en el producto final debe ser siempre menor a la de sacarosa presente. Para el valor de 65° BRIX el óptimo de inversión está comprendido entre el 20 y el 25% del peso total del producto terminado (30-40% de los azúcares totales). (Trinidad & Rosales, 2001; Guato, 2006)

Azúcar y ácido cítrico.

El azúcar es un componente importante en el proceso de gelificación de la mermelada al combinarse con pectina, considerando que la baja adición o el exceso de adición de este componente en la preparación con lleva a la aparición de procesos de fermentación o de cristalización (formación de cristales) respectivamente (Jiménez, 2014).

En el proceso para obtener mantener la calidad, lo que significa una gelificación correcta y un buen sabor; esto se logra conseguir cuando el 60 % del peso final de la mermelada procede del azúcar añadido; cuando la cantidad de azúcar añadida es inferior al 60% puede fermentar la mermelada y por ende se propicia el desarrollo de hongos y si es superior al 68% existe el riesgo de que cristalice parte del azúcar durante el almacenamiento (Jiménez, 2014; Pons, 2009). El azúcar a utilizarse debe ser de preferencia azúcar blanca, porque permite mantener las características propias de color y sabor de la fruta. Cuando el azúcar es sometida a cocción en medio ácido, se produce la inversión de la sacarosa, desdoblamiento en dos azúcares (fructosa y glucosa) que retardando el fenómeno de cristalización, por ello esencial mantener un equilibrio entre la sacarosa y el azúcar invertido. Una baja inversión puede provocar la cristalización del azúcar de caña, y una elevada o total inversión, la granulación de la dextrosa. Por tanto el porcentaje óptimo de azúcar invertido está comprendido entre el 35 y 40 % del azúcar total en la mermelada. (Trinidad & Rosales, 2001)

El ácido cítrico es importante no solamente para la gelificación de la mermelada sino también para conferir brillo y color de la mermelada, mejorando su sabor ayudando a evitar la cristalización del azúcar mejorando su conservación. Este componente en la formulación, se adicionará antes de someter a cocción de la fruta ya que beneficia a la extracción de la pectina de la fruta, mediante la disminución del pH y llevarlo a valores adecuados para la gelificación. Los ácidos más usados son el cítrico, el tartárico y más raramente el láctico y el fosfórico. El ácido cítrico es considerado generalmente más satisfactorio por su agradable sabor; el ácido tartárico es más fuerte, pero tiene un sabor menos ácido (Betancurt, 2007).

Pectina.

Se encuentra en las membranas de las frutas específicamente en sus células, esta es una sustancia natural gelificante, depende del tipo de fruta y de su estado de madurez la cantidad y calidad de la misma. En la preparación de mermeladas la primera fase consiste en resblandecer la fruta de forma que se rompan las membranas de las células y extraer así la pectina. La fruta verde contiene la máxima cantidad de pectina; la fruta madura contiene algo menos. La pectina se extrae más fácilmente cuando la fruta se encuentra ligeramente verde y este proceso se ve favorecido en un medio ácido.

La selección del tipo de pectina (alto o bajo metoxilo) depende de las características del producto a procesar y de la tecnología de elaboración a emplearse. Durante la cocción, el tiempo que acontece precedentemente de producirse la gelificación disminuye al aumentar la acidez, los °Brix y por el uso de pectinas de alto metoxilo. (Maldonado* & Singh, 2008)

El grado de la pectina es la cantidad de azúcar que un kilo de esta puede coagular en condiciones óptimas, es decir a una concentración de azúcar al 60% y un pH ente 3 y 3.4, proporcionado una consistencia normal; comercialmente se

puede obtener pectina de acuerdo a su grado, siendo este la fuerza de la pectina, así tenemos 100, 150, etc. Teniendo que un grado de pectina coagulará a un gramo de azúcar, así: grado 100 significa que un gramo de esta pectina coagulará a 100 gramos de azúcar.

La eficiencia de la gelificación y el tiempo necesario para que ocurra son controlados por el pH del producto. Cada pectina tiene su rango de pH óptimo; en general las pectinas de solidificación lenta, operan mejor en el rango de pH entre 2.6 y 3.2; mientras que las de gelificación rápida funcionan mejor en el rango de pH 2.9 y 3.5. La pectina conformada en su mayor parte por ácidos galacturónicos de diferentes grados de esterificación y neutralización; la más utilizada es la que tiene entre 8% y 12% de metil éster, se fabrican también pectinas de bajo metoxilo con 2 a 4.5% de metil éster; que forman geles sin azúcar en presencia de sales metálicas; estas últimas son adicionadas en jaleas y mermeladas dietéticas en las que se debe hacer un balance adecuado entre pectina y sales de calcio para que ocurra la gelificación. (UscaTubón, 2011)

Cocción

La cocción es la fase más importante y delicada del proceso de fabricación de la mermelada. Durante esta, los ingredientes agregados en una secuencia adecuada, son transformados en el producto final, la misma que produce los siguientes efectos:

- Ablandamiento de los tejidos de la fruta a fin de hacerla capaz de absorber el azúcar.
- Eliminación por evaporación de las eventuales trazas de productos químicos usados para la conservación de la pulpa como el dióxido de azufre.
- Transformación de parte de la sacarosa en azúcar invertido.
- Eliminación por evaporación de agua, hasta alcanzar un contenido de sólidos solubles preestablecidos.

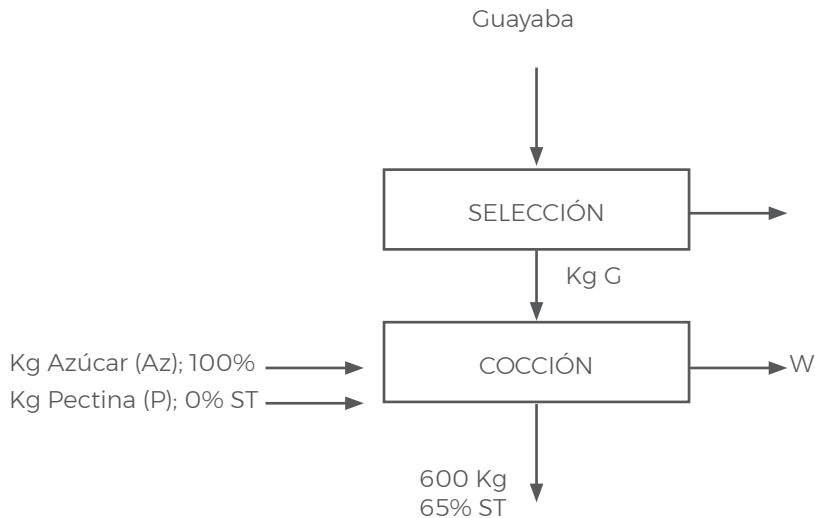
Entre los sistemas utilizados para este proceso térmico pueden ser: una marmita abierta, un recipiente a vacío y en circuito cerrado trabajando a presiones de vacío entre 700 a 740 mm Hg. En este último sistema, el producto se concentra a temperaturas entre 60 - 70°C, conservándose mejor las características organolépticas de la fruta. El primer procedimiento ofrece la ventaja del fácil control de la rapidez; el segundo permite trabajar a bajas temperaturas y grandes cantidades de producto permitiendo conservar casi intactas características organolépticas y los aromas de la fruta fresca. El tiempo de cocción depende de la variedad y textura de la materia prima. Al respecto un tiempo de cocción corto es de gran importancia para conservar el color y sabor natural de la fruta y una excesiva cocción produce un oscurecimiento de la mermelada debido a la caramelización de los azúcares.

Datos tecnológicos

- Jaleas y mermeladas por lo general poseen 65% de concentración.
- Se utiliza pectina de varios grados por ejemplo si es pectina de grado 100 esto nos indica que 1 parte de pectina trabaja con 100 partes de azúcar.
- La pectina aporta con el 0% de sólidos totales.

Problemas planteados:

1. Se desea elaborar mermelada de Guayaba utilizando pulpa con 12% de sólidos totales para envasar 100 cajas de 24 frascos de 250 gramos cada uno, en la que se debe determinar las cantidades de frutas, de pectina y de azúcar que se utilizaran en la mezcla; se utiliza pectina de grado 100 y esto en base a la relación de 45 partes de fruta a 55 de azúcar.



Cantidad requerida: $(100 \text{ cajas}) * (24 \text{ frascos}) * (250 \text{ gramos})$
 $= 600\text{Kg}$ de mermelada

Inicialmente planteamos todas las ecuaciones posibles.

$$\text{Balance Total: } G+P+AZ= 600+W \quad (1)$$

Balance de Sólidos Totales:

$$G (0.12) +AZ (1) = 600 (0.65)$$

$$0.12 G+AZ= 390 \quad (2)$$

Balance de Pectina

$$P= \frac{A_z}{100} \quad (3)$$

Balance de Azúcar

$$G = \frac{45}{55} A_z \quad (4)$$

Una vez planteadas las ecuaciones relacionadas al proceso, se resuelve el sistema de ecuaciones lineales por el método de sustitución en función de una variable.

$$A_z = 355.19 \text{ Kg}$$

$$0.12 \frac{45}{55} A_z + A_z = 390$$

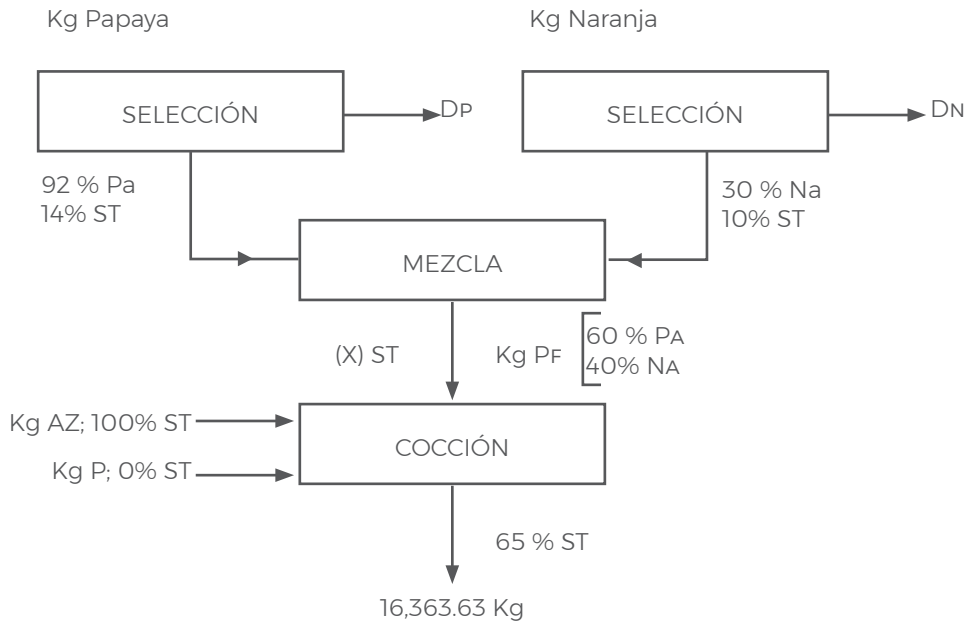
$$G = \frac{45}{55} (355.19); \quad G = 290.61 \text{ Kg}$$

$$P = \frac{A_z}{100}; \quad P = 3.52 \text{ Kg}$$

2. En la elaboración de 1500 cajas de 48 frascos de $\frac{1}{2}$ lb. de jalea mixta, usamos 60% de pulpa de papaya y 40% de jugo de naranja, con relación de 45 a 60 pulpas de fruta y azúcar. La papaya tiene 8% de desperdicios y contiene 14% de sólidos, la naranja 70% de desperdicios y 10% ST. Si el kilo de papaya cuesta \$1.20 y el de naranja \$0.85 y un kilo de azúcar \$0.50, un kilo de pectina de grado 100 \$2.5.

- a) Realizar el Diagrama de Bloque del Proceso.
- b) Calcular Kg de pulpa de fruta, azúcar y pectina requeridos.
- c) Kg de papaya y de naranja entera requerida.
- d) El costo de materiales.
- e) Si los costos de producción, distribución y venta representan el 80% del costo de materiales, calcular el costo total de la producción.
- f) Si la empresa desea obtener un 25% de utilidad, calcular el precio de venta al público de cada frasco de jalea.

Diagrama de bloque de proceso.



Inicialmente planteamos todas las ecuaciones posibles.

Balance general a cocción

$$PF + AZ + P = 16363.63 + W \quad (1)$$

Balance de sólidos totales cocción:

$$PF(X) + AZ(1) = 16363.63(0.65)$$

$$PF(X) + AZ = 10636.36 \quad (2)$$

Balance Pectina

$$P = \frac{A_z}{100} \quad (3)$$

Balance de Azúcar

$$PF = \frac{46}{60} A_z \quad (4)$$

De los sistemas de ecuaciones planteados, se puede observar que no se conoce la concentración de la mezcla de papaya y naranja, para lo cual se aplicará una base de cálculo:

Base de cálculo: 1 Kg de mezcla de pulpa

$$\text{Balance total a mezclar} \quad 1 = 0.6 + 0.4$$

Balance a sólidos totales de mezcla:

$$1(x) = 0.6 (0.14) + 0.4 (0.10) \quad ; \text{ donde } (x) = 0.12 = 12\% \text{ ST.}$$

Determinada la concentración, se reemplaza en la ecuación 2 y se resuelven los sistemas de ecuaciones planteados.

$$PF = \frac{54}{60} (9731.34)$$

$$PF (0.12) + Az = 16363.63$$

$$0.12 \frac{54}{60} Az + Az = 16363.63 \text{ Kg} (0.65)$$

$$PF = 7298.5 \text{ Kg}$$

$$AZ = 9731.34 \text{ Kg}$$

$$P = 97.31 \text{ Kg}$$

$$W = 763.25 \text{ Kg}$$

Para calcular los Kg. de Papaya y Naranja requeridos, se efectúa relaciones con regla de tres.

$$\begin{array}{l} 7298.5 \text{ Kg PF} \\ \text{Pa (papaya) Kg} \end{array} \begin{array}{l} \times \\ \times \end{array} \begin{array}{l} 100\% \\ 60\% \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 7298.5 \text{ Kg PF} \\ \text{Na (naranja) Kg} \end{array} \begin{array}{l} \times \\ \times \end{array} \begin{array}{l} 100\% \\ 40\% \end{array}$$

4379.1 Kg de pulpa
de Papaya

2919.4 Kg de pulpa de Naranja

Cantidad de desperdicios (D) obtenidos de las frutas.

4379.1 Kg Pa ~~92%~~
DP Kg ~~8%~~

2919.4 Kg Na ~~30%~~
DN Kg ~~70%~~

380.79 Kg Desperdi-
cios de Papaya

6811.93 Kg Desperdicios de
Naranja

Para determinar la masa total de fruta requerida se procede a la suma de la pulpa de fruta con los desperdicios formados, respectivamente.

$$mP = 4,379.1 \text{ Kg} + 380.79 \text{ Kg} = \boxed{4759.89 \text{ Kg de Papaya entera requeridos}}$$

$$mN = 2,919.4 \text{ Kg} + 6,811.93 \text{ Kg} = \boxed{9731.3 \text{ Kg de Naranja entera requeridos}}$$

Para determinar los costos, se multiplican los Kg. de fruta entera, y demás componentes requeridos por el costo de cada uno de ellos por Kg, y posteriormente se suma cada uno de ellos.

Materiales	Procedimiento de cálculo	Costo unitario
PAPAYA	4,759.89 Kg (\$1.20/Kg)	\$ 5,711.87
NARANJA	9,731.3 Kg (\$0.85/Kg)	\$ 8,271.61
AZUCAR	9,731.34 Kg (\$0.50/Kg)	\$ 4,865.7
PECTINA	97.31 Kg (\$2.5/Kg)	\$ 4,865.7
Costo de Materiales	\$19092.48	

Para obtener el costo total de producción, distribución y venta, se realiza una relación con una regla de tres; y posteriormente se efectúa una suma, de los costos de producción, distribución y venta con los costos de materiales, para obtener lo que se desea

$$\begin{array}{ccc} \$19,092.48 & \times & 100\% \\ X & & 80\% \end{array}$$

$$X = \$ 15273.98 \text{ Costo de distribución, producción y venta.}$$

Costo de Materiales	\$19092.48
Costos de Distribución, Producción y Venta	\$ 15273.98
Costos Totales de Producción	\$ 34366.46

Determinando el PVP (Precio de Venta al Público), al igual que anteriormente se realiza una relación con una regla de tres, y también se efectúa una suma, pero de la utilidad esperada con el costo total de producción, y por último se divide ese costo para cada caja y frasco.

Se determina el valor del porcentaje de utilidad económica del proceso de elaboración.

$$\begin{array}{r} \$ 34366.46 \\ \times \\ \hline \end{array} \begin{array}{r} 100\% \\ 25\% \\ \hline \end{array}$$

$$X = \$ 8521.61 \text{ Utilidad esperada.}$$

$$(1500 \text{ cajas}) (48 \text{ frascos}) = 72000 \text{ frascos}$$

$$\text{PVP} = \$ 42958.08 / (72000)$$

Utilidad Esperada	\$ 8521.61
Costo Total de Producción	\$ 34366.46
Total	\$ 42958.08
Precio de Venta al Público (P.V.P.)	\$ 0.60 / frasco

3. En la producción de 4500 cajas de 48 frascos de 250 ml cada una de una jalea mixta que debe tener 65° Brix y densidad 1.3 g/ml. Esta jalea estará formada por 45% papaya, 30% de banano y 25% de naranja. Se usará pectina de grado 100 en una relación 45 pulpa de fruta y 55 de azúcar. El jugo de naranja contiene 10% de sólidos solubles y sus desperdicios representan el 70% en peso, la papaya contiene 16% de sólidos y 15% representan sus desperdicios, el banano 13% de sólidos y 10% representan sus desperdicios. Precios del Kg de fruta respectivamente: Papaya \$0.3, naranja \$0.25, Banano \$0.15, azúcar \$0.80 y pectina \$3.20. Determinar:

- a) Kg. de fruta entera, de azúcar y pectina.
- b) Diagrama de Bloque del proceso señalando todas las corrientes.
- c) El precio de venta al público de cada envase de jalea de 250 ml si los costos de producción y distribución representan el 25% del precio de los materiales y se espera una utilidad del 15%.

Solución:

$(4500 \text{ cajas}) (48 \text{ frascos}) (250 \text{ ml}) = 54000,000 \text{ ml} = 54000$
l. de Jalea Mixta.

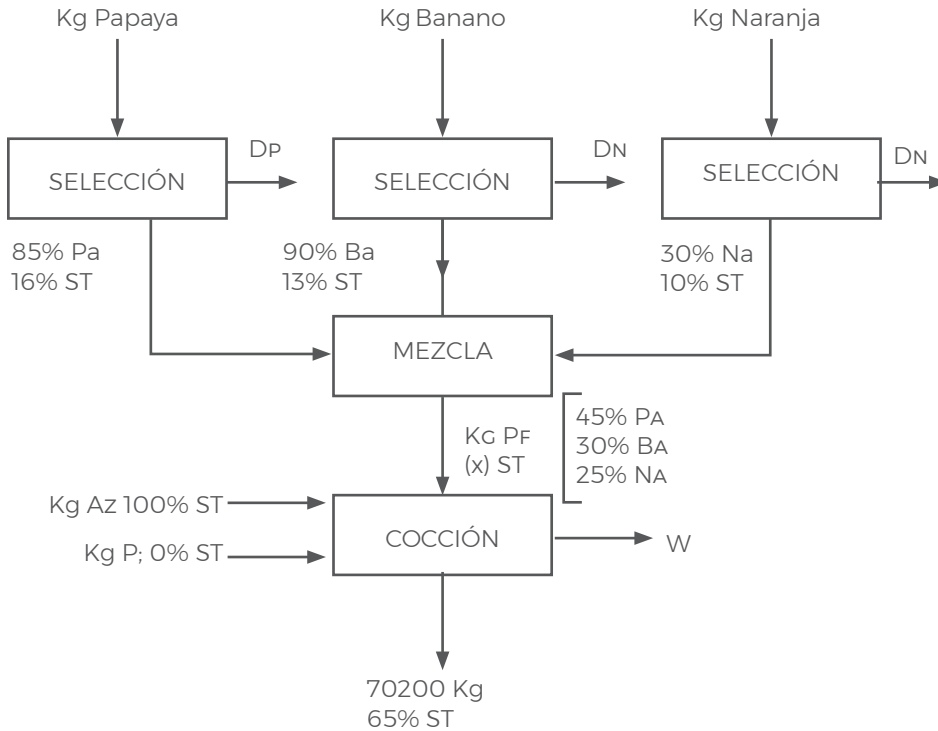
$\rho = 1.3 \text{ g/ml} = 1.3 \text{ Kg/l.}$

$\rho = \text{masa/volumen}$

$m = \rho \cdot v = 1.3(54000)$

$m = 70200 \text{ Kg de Jalea Mixta}$

Diagrama de bloque de proceso



Inicialmente planteamos todas las ecuaciones posibles.

Balance general a cocción

$$PF + Az + P = 70200 + W \quad (1)$$

Balance de sólidos totales a cocción:

$$PF[x] + Az \quad (1) = 70200(0.65)$$

$$PF[x] + Az = 45630 \quad (2)$$

Balance de pectina

$$P = \frac{Az}{100} \quad (3)$$

Balance de azúcar

$$P_F = \frac{45}{55} Az \quad (4)$$

De los sistemas planteados se puede observar que no se conoce la concentración de la mezcla de papaya, banano y naranja, para lo cual vamos a aplicar una base de cálculo.

Base de cálculo: 1 Kg de mezcla de pulpa

Balace total a mezclar:

$$1 = 0.45 + 0.3 + 0.25$$

Balace a sólidos totales de mezcla:

$$1[X] = 0.45 (0.16) + 0.3 (0.13) + 0.25 (0.10)$$

$$[X] = 0.14 = 14\%ST$$

Una vez determinada mediante base del cálculo y de realizar los diferentes balances se puede conocer la concentración de sólidos totales en la mezcla, se reemplaza en la ecuación planteada y se resuelva el sistema de ecuaciones.

$$P_F (0.14) + A_z = 45630$$

$$0.14 \frac{45}{55} A_z + A_z = 45630$$

$$A_z = 41108.12 \text{ Kg}$$

$$1.11 A_z = 45630$$

$$P = 4110.8 \text{ Kg}$$

$$P_F = \frac{45}{55} (41108.12)$$

$$W = 4953.11 \text{ Kg}$$

$$P_F = 33633.91 \text{ Kg}$$

Para calcular los Kg. De pulpa Papaya, Banano y Naranja requeridos, se efectúa relaciones con regla de tres.

$$\begin{array}{l} 33633.91 \text{ Kg PF} \\ \text{Pa Kg} \end{array} \begin{array}{l} \diagup 100\% \\ \diagdown 45\% \end{array}$$

15135.3 Kg de pulpa de Papaya

$$\begin{array}{l} 33633.91 \text{ Kg PF} \\ \text{Ba Kg} \end{array} \begin{array}{l} \diagup 100\% \\ \diagdown 30\% \end{array}$$

10090.2 Kg de pulpa de Naranja

$$\begin{array}{l} 33633.91 \text{ Kg PF} \\ \text{Na Kg} \end{array} \begin{array}{l} \diagup 100\% \\ \diagdown 25\% \end{array}$$

8408.5 Kg de pulpa de Naranja

Cantidad de desperdicios (D) obtenidos de las frutas.

$$\begin{array}{l} 15135.3 \text{ Kg P}_a \\ \text{DP Kg} \end{array} \begin{array}{l} \diagup 85\% \\ \diagdown 15\% \end{array} \quad \begin{array}{l} 10090.2 \text{ Kg Ba} \\ \text{D}_b \text{ Kg} \end{array} \begin{array}{l} \diagup 90\% \\ \diagdown 10\% \end{array}$$

2670.94 Kg de desperdicios de Papaya 1121.13 Kg desperdicios de Banano

$$\begin{array}{l} 8408.5 \text{ Kg Na} \\ \text{DN Kg} \end{array} \begin{array}{l} \diagup 30\% \\ \diagdown 70\% \end{array}$$

19619.83 Kg de desperdicios de Naranja.

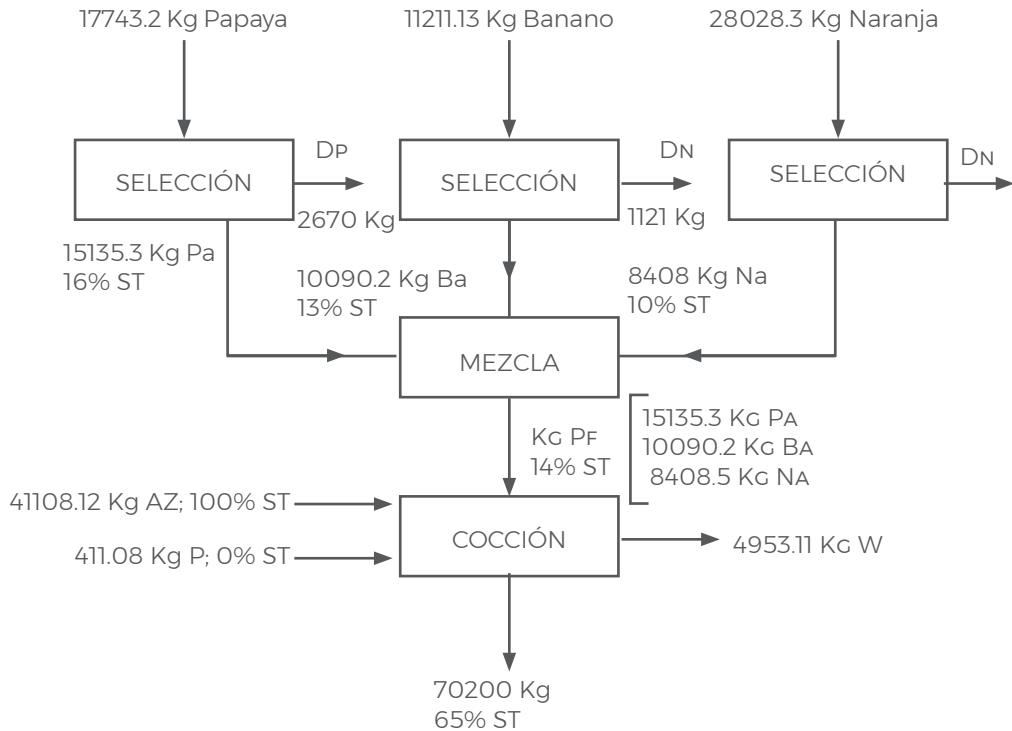
Una vez establecido la cantidad requerida de pulpa de fruta y los diferentes desperdicios ocasionados por la extracción del mismo se puede determinar la masa total de fruta requerida si se suma la pulpa de fruta con los desperdicios formados, respectivamente.

$$\text{Masa de Papaya} = 15135.3 \text{ Kg} + 2607.9 \text{ Kg} = \boxed{17743.2 \text{ Kg de Papaya entera requeridos}}$$

$$\text{Masa de Banano} = 10090.2 \text{ Kg} + 1121.1 \text{ Kg} = \boxed{11211.3 \text{ Kg de Banano entero requeridos.}}$$

$$\text{Masa de Naranja} = 8408.5 \text{ Kg} + 19619.8 \text{ Kg} = \boxed{28028.33 \text{ Kg de Naranja entera requeridos.}}$$

Diagrama de bloques del proceso señalando todos los valores y corrientes:



Después de desarrollar los respectivos balances de materia; seguidamente se debe determinar el PVP, para ello, primero se debe determinar el costo de materiales, subsiguientemente al costo total de producción, distribución y venta, rápidamente la utilidad que se desea y por último el PVP/frasco.

Para determinar el costo de materiales se multiplican los Kg. de fruta entera, y demás componentes requeridos por el costo de cada uno de ellos por Kg, y posteriormente se suma cada uno de ellos.

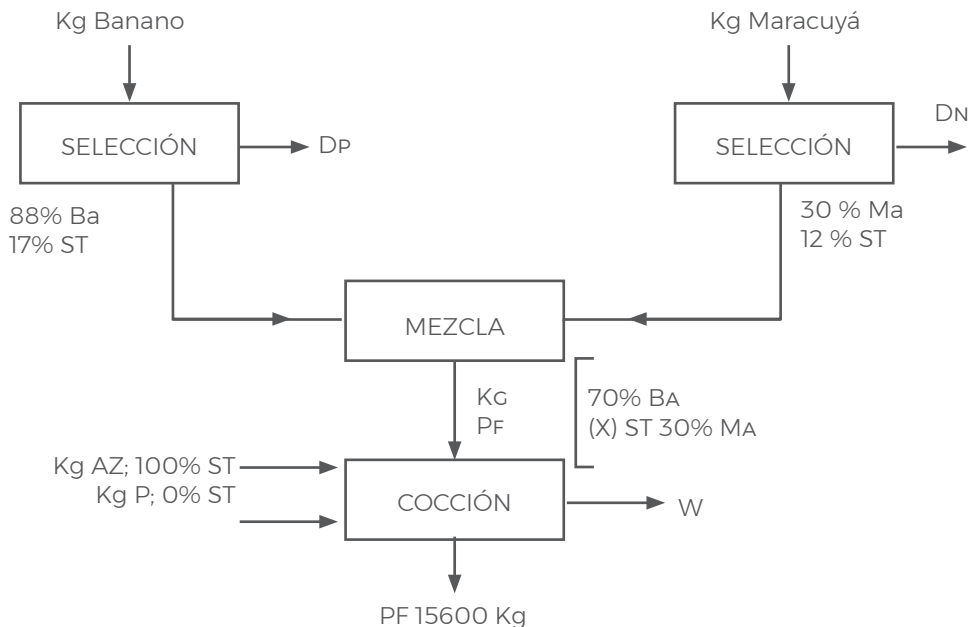
Utilidad Esperada	\$9040.07
Costo Total de Producción	\$ 60267.11
Total	\$ 69307.18
Precio de Venta al Público (P.V.P.)	\$ 0.32 / frasco

4. Deseamos preparar 1,000 cajas de 48 frascos de 250 ml de una mermelada mixta que debe tener 65° Brix y un peso específico de 1.3. La mermelada estará formada por 70% de banano y 30% de maracuyá, se debe usar pectina de grado 80 y una relación de 45 a 60 pulpa de fruta azúcar. La maracuyá contiene 12% de sólidos totales y sus desperdicios representan el 70% de su peso. El banano contiene 17% de sólidos totales y 12% de desperdicios. Calcule los Kg. de fruta entera, de azúcar y de pectina necesarios para la producción.

(1000 cajas) (48 frascos) (250 ml) = 12000.000 ml = 12000 l de Mermelada Mixta

$$\rho = \text{masa/volumen}$$

$$m = \rho \cdot v = 1.3(12000) = 15600 \text{ Kg de Mermelada Mixta}$$



Inicialmente planteamos todas las ecuaciones posibles.

Balance general a cocción

$$PF + Az + P = 15,600 + W \quad (1)$$

Balance de sólidos totales a cocción

$$PF[x] + Az \quad (1) = 15,600 \quad (0.65)$$

$$PF[x] + Az = 10,140 \quad (2)$$

Balance de pectina

$$P = Az/80 \quad (3)$$

Balance de Azúcar

$$PF = 45/60 \quad Az \quad (4)$$

De los sistemas planteados se puede observar que no se conoce la concentración de la mezcla de banano y maracuyá, para lo cual vamos a aplicar una base de cálculo.

Base de cálculo: 1 Kg de mezcla de pulpa

Balance total a la mezcla

$$1 = 0.7 + 0.3$$

Balance a sólidos totales de mezcla:

$$1[x] = 0.7 \quad (0.17) + 0.3 \quad (0.12)$$

$$[X] = 0.16 = 16\%ST$$

Ya conocida la concentración se reemplaza en la fórmula y se resuelve el sistema de ecuaciones que se formó.

$$P_F \quad (0.16) + Az = 10,140$$

$$0.16 \frac{45}{60} \quad Az + Az = 10,140$$

$$1.12 \quad Az = 10140$$

$$Az = 9083.99 \text{ Kg}$$

$$P_F = \frac{45}{60} (9083.99)$$

$$P_F = 6812.99 \text{ Kg}$$

$$P = 113.55 \text{ Kg}$$

Para calcular los Kg. de Papaya, Banano y Naranja requeridos, se efectúa relaciones con regla de tres.

$$\begin{array}{l} 6812.09 \text{ Kg PF} \\ \text{Ba Kg} \end{array} \begin{array}{l} \diagup 100\% \\ \diagdown 70\% \end{array}$$

4769.09 Kg de
pulpa de Banano

$$\begin{array}{l} 4769.1 \text{ Kg Ba} \\ \text{DBa Kg} \end{array} \begin{array}{l} 88\% \\ 12\% \end{array}$$

650.33 Kg de desper-
dicios de Banano

$$\begin{array}{l} 6812.99 \text{ Kg PF} \\ \text{Ma Kg} \end{array} \begin{array}{l} \diagup 100\% \\ \diagdown 30\% \end{array}$$

2043.90 Kg de pulpa
de Maracuyá

$$\begin{array}{l} 2043.9 \text{ Kg Ma} \\ \text{DMa Kg} \end{array} \begin{array}{l} 30\% \\ 70\% \end{array}$$

4769.1 Kg de desper-
dicios de Maracuyá

Para hallar la masa total de fruta requerida se suma la pulpa de fruta con los desperdicios formados, respectivamente.

$$\text{MBa} = 4769.09 \text{ Kg} + 650.33 \text{ Kg} = \boxed{5419.4 \text{ Kg de Banano entero requeridos.}}$$

$$\text{mM} = 2043.90 \text{ Kg} + 4769.1 \text{ Kg} = \boxed{6813 \text{ Kg de Maracuyá entera requeridos.}}$$

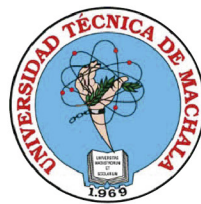
Referencia bibliográfica

- Betancurt, P. (Febrero de 2007). <http://www.biblioteca.fagro.edu.uy>. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de <http://www.biblioteca.fagro.edu.uy>: <http://www.biblioteca.fagro.edu.uy>
- CODEX STAN, 2. (2009). file:///C:/Users/user/Downloads/CXS_296s.pdf. Recuperado el 5 de Noviembre de 2017, de file:///C:/Users/user/Downloads/CXS_296s.pdf: file:///C:/Users/user/Downloads/CXS_296s.pdf
- INEN, N. T. (2013). <http://www.normalizacion.gob.ec>. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de <http://www.normalizacion.gob.ec>: http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/ACO/17122014/nte-inen-2825.pdf
- M. Nunes Damaceno, E. A. (26-28 de Septiembre de 2007). <http://www.aepro.com>. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de <http://www.aepro.com>: http://www.aepro.com/files/congresos/2007lugo/ciip07_0002_0011.367.pdf
- Maldonado*, S., & Singh, J. d. (Junio de 2008). <http://www.scielo.br>. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de <http://www.scielo.br>: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612008000200025&script=sci_arttext
- Melva López Orozco, J. M. (2011). Formulación de una mermelada a partir de pulpa y cáscara de tunas (*Opuntia* spp.) elaborada a nivel planta piloto. *Acta Universitaria*, 32.
- Olivares La Madrid, A. P., & Valdiviezo, A. S. (7 de Julio de 2015). www.scielo.org.ar. Recuperado el 10 de Septiembre de 2017, de www.scielo.org.ar: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73372015000300002
- Trinidad, M. C., & Rosales, R. H. (2001). <http://ww2.educarchile.cl>. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de <http://ww2.educarchile.cl>: http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0029/File/Objetos_Didacticos/EIA_08/Recursos_Conceptuales/elaboracion_semindu_mermeladas.pdf
- UscaTubón, J. L. (2011). <http://dspace.espace.edu.ec>. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de <http://dspace.espace.edu.ec>: <http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/1165/1/56T00265.pdf>

*Fundamentos básicos de cálculos de ingeniería
química con enfoque en alimentos.*
Edición digital 2017 - 2018.
www.utmachala.edu.ec

Redes

Redes es la materialización del diálogo académico y propositivo entre investigadores de la UTMACH y de otras universidades iberoamericanas, que busca ofrecer respuestas glocalizadas a los requerimientos sociales y científicos. Los diversos textos de esta colección, tienen un espíritu crítico, constructivo y colaborativo. Ellos plasman alternativas novedosas para resignificar la pertinencia de nuestra investigación. Desde las ciencias experimentales hasta las artes y humanidades, Redes sintetiza policromías conceptuales que nos recuerdan, de forma empeñosa, la complejidad de los objetos construidos y la creatividad de sus autores para tratar temas de acalorada actualidad y de demanda creciente; por ello, cada interrogante y respuesta que se encierra en estas líneas, forman una trama que, sin lugar a dudas, inervará su sistema cognitivo, convirtiéndolo en un nodo de esta urdimbre de saberes.



Universidad de Guayaquil

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
Editorial UTMACH
Km. 5 1/2 Vía Machala Pasaje
www.investigacion.utmachala.edu.ec / www.utmachala.edu.ec

ISBN: 978-9942-24-118-4

