UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

TEMA:

ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES EN EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE PURÉ DE BANANO ASÉPTICO NO ACIDIFICADO SIN SEMILLA.

ASPIRANTE:

MARÍA DANIELLA LOAYZA AGUILAR

TUTOR:

ING. QUIM. LUIS ALBERTO CEDEÑO SARES, Mg. Sc.

2015

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORIA

Yo María Daniella Loayza Aguilar, con cédula de identidad 0705320034, egresado de la Carrera de Ingeniería en Alimentos de la Unidad académica de Ciencias Químicas y de la Salud, de la Universidad Técnica de Machala, responsable del trabajo de titulación **"**ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÒN DE AZÙCARES REDUCTORES EN EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE PURÉ DE BANANO ASÈPTICO NO ACIDIFICADO SIN SEMILLA**"**, Certifico que la responsabilidad de la investigación, resultados y conclusiones del presente trabajo pertenecen exclusivamente a mi autoría.

Deslindo a la Universidad Técnica de Machala de cualquier delito de plagio y cedo mis derechos de Autor a la Universidad Técnica de Machala para ella proceda a darle el uso que crea conveniente.

María Daniella Loayza Aguilar

C.I. 0705320034

AUTORA

CERTIFICACIÓN

El presente trabajo de titulación **“**ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE DEGRADACIÒN DE AZÙCARES REDUCTORES EN EL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN DE PURÉ DE BANANO ASÈPTICO NO ACIDIFICADO SIN SEMILLA**”**, realizado por la autora Sra. María Daniella Loayza Aguilar, egresado de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, ha sido prolijamente dirigido y revisado, por lo tanto autorizo su presentación previo a la obtención del título de Ingeniera en Alimentos.

Ing. Quim. Luis Alberto Cedeño Sares, Mg. Sc

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

RESPONSABILIDAD

El presente trabajo de titulación: resultados, conclusiones y recomendaciones son de responsabilidad única y exclusiva de la autora.

María Daniella Loayza Aguilar

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido la culminación de mi carrera profesional con éxito.

Con todo cariño a toda mi familia, especialmente a mi esposo e hija ya que son mi fortaleza para poder seguir adelante, además en ellos encontré paciencia apoyo incondicional, compresión, para así poder alcanzar con una de mis mayores metas trazadas durante mi vida estudiantil.

María Daniella Loayza Aguilar

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios, a mis padres y a toda mi querida familia, por haberme permitido y ayudado a desarrollar el presente trabajo de titulación.

Mi sincero agradecimiento a la Unidad académica de Ciencias Químicas y de la Salud que me formado como profesional, a nuestros profesores por entregarnos sus conocimientos, paciencia y compresión que forjaron un espíritu de esfuerzo motivándome a alcanzar la meta propuesta.

LA AUTORA

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la degradación de los azucares reductores presentes en el puré de banano sin semillas no acidificado, elaborado por la industria alimenticia CONFOCO S.A. mediante la aplicación de tres condiciones diferentes de pasteurización (60 ºC por 1 hora, 70 ºC por 1 hora, 80 ºC por 1 hora) y mediante modelos matemáticos calcular el orden de reacción de la cinética de degradación del puré. El método analítico utilizado para la medición de la concentración de azucares reductores fue el espectrofotométrico UV- Visible, en el cual se utilizó la técnica de Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico), reactivo que tiene la capacidad de oxidar a los azúcares reductores dando resultados colorimétricos que se pueden medir con una longitud de onda de 575nm. Se obtuvo una disminución de los azucares reductores durante el proceso de pasteurización, en el tratamiento C en el cual se sometió el puré a 80 ºC por una hora, varía desde un valor inicial de 18,03 % hasta 6,23%, evidenciándose una disminución de 11,79 % en la concentración de azucares reductores, en el tratamiento B en el cual se sometió el puré a 70 ºC por una hora, varía desde un valor inicial de 18,03 % hasta 8,26%, evidenciándose una disminución de 9, 77 % y tratamiento A en el cual se sometió el puré a 60 ºC por una hora, varía desde un valor inicial de 18,03 % hasta 10,04%, presentando la menor disminución de 7,99 %, el análisis estadístico nos indica que si existe diferencia significativa ($p<0,05$) entre los 3 tratamientos estudiados, adicionalmente se comprobó la calidad microbiológica del puré de banano maduro pasterizado a 60, 70 y 80 ºC, dando resultados negativos para coliformes totales en los tres procesos.

Palabras clave: Azucares reductores., DNS, ácidodinitrosalicílico, Puré, Acido málico, Cinética de degradación.

ABSTRACT

This research aimed to determine the degradation of reducing sugars present in the mashed bananas seedless non-acidified, prepared by the food industry CONFOCO S.A. by applying three different pasteurization conditions (60 ° C for 1 hour, 70 ° C for 1 hour, 80 ° C for 1 hour) using mathematical models and calculating the reaction order of the degradation kinetics of the mash. The analytical method used for measuring the concentration of reducing sugar was a UV-visible spectrophotometer, in which the technique of Miller and DNS (dinitrosalicylic acid) reagent having the ability to oxidize the reducing sugars was used giving colorimetric results that can be measured with a wavelength of 575nm. A decrease of reducing sugars obtained during the pasteurization process, in treatment C at which the mash is subjected to 80 ° C for one hour, varies from an initial value of 18.03% to 6.23% which shows an 11.79% decrease in the concentration of reducing sugars, in the treatment B in which the mash at 70 ° C for one hour was subjected varies from an initial value of 18.03% to 8.26%, showing a decline 9, 77%, and treatment in which the mash is subjected to 60 ° C for one hour, varies from an initial value of 18.03% to 10.04%, with a minor decrease of 7.99%, the analysis statistic indicates that if there is significant difference ($p < 0.05$) between the 3 treatments studied, further microbiological quality of pasteurized mashed ripe bananas at 60, 70 and 80 ° C was found to give negative results for total coliforms in the three processes.

Keywords: Reducing sugars, DNS, ácidodinitrosalicílico Puree, Malic Acid, Kinetics of degradation.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTORIA ii
CERTIFICACIÓN iii
RESPONSABILIDAD iv
DEDICATORIA v
AGRADECIMIENTOS vi
RESUMEN vii
INTRODUCCIÓN 1
OBJETIVOS 3
Objetivo General 3
Objetivos Específicos 4
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN 4
VARIABLES 4
Variables Independientes 4
Variable Dependiente 4
HIPÓTESIS 4
1. MARCO TEÓRICO 5
1.1. BANANO 5
1.1.1. Clasificación Taxonómica 5
1.1.2. Frutos Climatéricos 5
1.1.3. Composición Nutricional del Banano 6
1.2. DERIVADOS DEL BANANO 7
1.2.1. Puré de Banano 7
1.2.2. Puré de Banano no Acidificado 7
1.2.3. Puré de Banano Acidificado 7
1.3. CARACTERIZACIÓN DEL PURÉ DE BANANO MADURO SIN SEMILLAS 8
1.3.1. Características Organolépticas 9
1.4. PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DE LOS CARBOHIDRATOS 9
1.4.1. Higroscopicidad 9
1.4.2. Mutarrotación 10
1.4.3. Estado Vítreo 10

1.4.4. Cristalización 11
1.4.5. Poder Edulcorante 11
1.5. REACCIÓN DE DEGRADACIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS 11
1.5.1. Carbohidratos 11
1.5.2. Estructura Química de los Carbohidratos 12
1.5.3. Reacción de Maillard 14
1.5.4. Oxido Reducción de Carbohidratos 17
1.5.5. Azucares Reductores 19
1.6. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO 19
1.6.1. Análisis de Azucares 19
1.6.1.1. Procedimiento para la Determinación de Azucares Reductores Totales (Método de Espectrofotometría) 19
1.7. CINETICAS DE PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO 20
1.7.1. Molecularidad y Orden de Reacción 20
1.7.2. Coeficiente Cinético K 21
1.7.3. Velocidad de Reacción 22
1.7.4. Modelos Cinéticos para el Pardeamiento no Enzimático 23
1.7.4.1. Cinética de Primer Orden 23
1.7.4.2. Cinética de Segundo Orden 24
1.7.4.3. Energía de Activación 24
1.7.4.4. Relación del Pardeamiento no Enzimático con el Valor Q_{10} 27
1.8. PASTEURIZACIÓN 28
1.8.1. Elección de las Condiciones de Pasteurización 28
1.8.2. Sistemas de Pasteurización 28
1.8.3. Equipo de Pasteurización para Alimentos Envasados 29
1.8.3.1. Generalidades de Cambiadores de Calor 30
1.8.3.2. Cambiadores de Calor Tubulares 31
1.8.4. Pasteurizador de Tubos Concéntricos 32
1.8.5. Intercambiador de Superficie Rascada 33
1.8.6. Envasado Aséptico (Equipo Schoeller) 36
Beneficios del aséptico. 37
Envases asépticos. 37
2. METODOLOGÍA 39
2.1. LOCALIZACION DE LA INVESTIGACIÓN 39

2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN 39
2.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 39
2.4. MÉTODOS ANALÍTICOS 40
2.4.1. Obtención de la Curva de Calibración(Glucosa) 40
2.4.2. Determinación de Azucares Reductores 40
2.4.3. Determinación del pH 41
2.4.4. Actividad de Agua 41
2.5. UNIVERSO DE TRABAJO 42
2.6. MATERIALES A UTILIZARSE 42
3.4.3.5 Reactivos 43
3.4.3.6 Varios 43
3. RESULTADOS 44
3.1. REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS AZUCARES REDUCTORES POR EFECTOS DE LA PASTEURIZACIÓN 44
3.2. CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE LOS AZUCARES REDUCTORES EN EL PURÉ DE BANANO 45
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO 48
3.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS 49
5. RECOMENDACIONES 57
6. BIBLIOGRAFÍA 58
ANEXOS 63

INTRODUCCIÓN

El banano es una fruta rica en hidratos de carbono, minerales y fibra, especialmente del tipo “FOS” (fructo-oligosacáridos). La fructosa es un carbohidrato no digerible que favorece el crecimiento de bacterias beneficiosas en el colon. Los micronutrientes que más se encuentran en el banano son el potasio, el magnesio y el ácido fólico, cada uno de ellos cumplen importantes funciones en nuestro organismo. Adicionalmente, se encuentran taninos, que tienen propiedades con acción astringente y es recomendado para quienes sufren de frecuentes episodios de diarrea. El puré de banano es el principal producto elaborado de banano y es reconocido a nivel mundial por su excelente calidad. Desde 1985 Ecuador ha exportado puré de banano, el cual es elaborado con bananos de la variedad Cavendish en óptimo estado de maduración.

El color del banano en estado maduro es un parámetros importantes para la evaluación de la calidad sensorial del producto, ya que es percibido inmediatamente por el consumidor y es una medida de las reacciones que ocurren en el alimento, ya sea por la formación y/o degradación de compuestos como los azúcares por medio de las reacciones de Maillard. El puré de banano experimenta el pardiamiento no enzimático en el proceso de pasteurización como consecuencia de la oxidación química de los azúcares la cual empieza con la condensación que es reversible, posteriormente las aldosas reaccionan con los compuestos aminados, pronto se encuentra que la mezcla de reacción contiene acetosa y viceversa, posteriormente una gran cantidad de los compuestos intermediarios de descomposición se forman cada vez más insaturados y reactivos para continuar con una descarboxilación de los aminoácidos en presencia de los compuestos dicarbonílicos. Las etapas finales de la reacción de pardeamiento aparentemente serían polimerización al azar de los intermediarios formados, los productos finales de la reacción, las melanoidinas pardas, son pigmentos complejos de alto peso molecular, de estructura desconocida.

En la reacción de Maillard, el azúcar y el aminoácido se comportan como la diglicosilamina formada, cuando se adiciona un exceso de azúcar reductor, sufre una transposición de Amadori formándose 1- amino-2- ceto-azúcar; cuando se trata de una aldosa, si el azúcar reductor en exceso es una cetosa, entonces se forma una

glicosilamina, que puede sufrir una trasnposición de Heyns, para producir una 2-amino-aldosa, ambas vías conllevan a la formación de las melanoidinas, HMF o furfural.

La desventaja de la reacción de Maillard, es la pérdida del valor nutricional y alteración de las características organolépticas del alimento.

PROBLEMA

El procesamiento de frutas, tiene singular importancia referirse a la degradación de azucares. La degradación de azucares es un fenómeno de oscurecimiento de naturaleza exclusivamente química (Braverman, 1980), se caracteriza por la presencia de polímeros pardos llamadas melanoidinas, generadas por las reacciones de Maillard, la caramelización y el deterioro de ácido ascórbico; en este caso se estudiará los dos primeros . Debido al alto contenido de carbohidratos entre del 18- 20 % presentes en el banano Variedad Cavendish, se ha decido estudiar las reacción química que da lugar al pardeamiento no enzimático en el proceso de pasteurización en la elaboración de puré de banano. Uno de los factores que influyen en la velocidad del pardeamiento no enzimático es la temperatura y el tiempo ya que propicia el desperdicio de alimento que durante el procesamiento han sido expuestos a temperaturas altas, oscureciendo más rápidamente durante el almacenamiento.

La reacción de Maillard (Pardeamiento no enzimático), no es la única vía por la cual el puré de banano pierda su valor nutricional, respecto a las proteínas, otro mecanismo conocido como degradación de Strecker (olores desagradables), implica la pérdida de aminoácidos sin la aparición de color, si hay un a dicarbonílico, produciendo dicha interacción, también aromas característicos en varios alimentos, como en el caso del chocolate, miel y pan. Sin embargo las melanoidinas formadas en la última etapa de la reacción de Maillard se han señalado por poseer ciertas propiedades funcionales, tales como actividades antioxidantes, antimicrobianas y antihipertensivos (Rufián-Henaresa, 2007).

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la velocidad de degradación de azucares en puré de banano a diferentes temperaturas y tiempo de exposición en el proceso de pasteurización, para la menor degradación posible.

Objetivos Específicos

- Establecer experimentalmente las constantes de velocidad de degradación de azucares en puré de banano.
- Definir los modelos matemáticos que describan la velocidad degradación de azucares en puré de banano.
- Determinar las constantes Z y D valoradas para la menor degradación posible.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo influye la velocidad de degradación de azucares reductores en puré de banano a diferentes temperaturas y tiempo de exposición en el proceso de pasteurización?

¿Cuáles son las constantes de la velocidad degradación de azucares en puré de banano?

¿Cuáles son los tiempos de exposición adecuados en el proceso de pasteurización?

¿Qué modelos matemáticos que describen la velocidad degradación de azucares en puré de banano?

VARIABLES

Variables Independientes

- Tiempo y temperatura de pasteurización del puré de banano maduro.

Variable Dependiente

- Concentración de azucares reductores.

HIPÓTESIS

En la pasteurización de puré banano sin semillas no acidificado la velocidad degradación de azucares reductores si está influenciada por la temperatura y tiempo en el que el puré de banano maduro ha sido expuesto este proceso.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. BANANO

Es una fruta de tamaño entre 80 a 120 gramos de peso. Este fruto se caracteriza por ser de forma curvilínea, color amarillo, sabor dulce cuando está en óptimo estado de madurez, textura dura en estado verde. Nutricionalmente es considerado un alimento altamente energético, al poseer carbohidratos fácilmente asimilables, pero pobre en proteínas y lípidos. (Sierra, 1993).

1.1.1. Clasificación Taxonómica

Pertenecen al orden Escitaminales (6 familias), familia: Musáceas (3 subfamilias) y género: Musa, este género está dividido en 5 secciones, de los que la sección: Eumusa comprende las dos especies: Musa acuminata (banano) y Musa balbisiana (plátano) (Cardeñosa, 1995).

Las variedades más importantes desde el punto de vista económico pertenecen a la sección eumusa. Por el hecho de que muchas formas tienen una naturaleza híbrida, se mantiene el nombre musa x paradisiaca para todas las variedades de plátanos frescos comestibles y plátanos para cocer. (Naturland, 2001)

1.1.2. Frutos Climatéricos

Es un fruto climatérico, siguen madurando después de la cosecha. Estos frutos experimentan una actividad respiratoria muy alta hasta que se da inicio a la elevación climatérica, una vez en este estadio la maduración es un proceso irreversible que puede ser atrasado pero no detenido por factores externos. En el caso de este fruto, se ha observado que presenta aumentos en la producción de etileno al comienzo de la maduración. (Ovalle & Rueda, 1999).

1.1.3. Composición Nutricional del Banano

Posee valor nutricional considerable. Es conocidos por su alto contenido en carbohidratos, potasio y fósforo, especialmente de un tipo llamado "FOS" (fructo-oligosacáridos) este tipo de carbohidrato no digerible apoya el crecimiento de bacterias beneficiosas en el colon (ICBF, 2005). El potasio (K), se encuentra en gran cantidad en este alimento, es un mineral importante para controlar el equilibrio electrolítico del cuerpo, también es esencial para la función muscular, la transmisión de impulsos nerviosos y el buen funcionamiento del corazón y los riñones (Romero, 2002).

Aparte, se encuentra en ellos unas sustancias llamadas taninos, que tienen interesantes propiedades con acción astringente.

Tabla 1. Composición del banano por cada 100 gr.

Agua	**74, 2 gr.**
Energía	92 Kcal
Grasa	0, 48 gr.
Proteína	1. 03 gr.
Hidratos de carbono	23, 43 gr.
Fibra	2, 4 gr.
Potasio	**396 mg**
Fósforo	20 mg
Hierro	0, 31 mg
Sodio	1 mg
Magnesio	29 mg
Calcio	6 mg
Zinc	0,16 mg
Selenio	1,1 mg
Vitamina C	9,1 mg
Vitamina A	81 IU
Vitamina B1 (Tiamina)	0, 045 mg.
Vitamina B2(Riboflavina)	0,10 mg
Vitamina E	0,27 mg
Niacina	0.54 mg

Fuente: Enciclopedia de la agricultura y Ganadería

1.2. DERIVADOS DEL BANANO

La mayor parte de la producción bananera ecuatoriana se exporta como materia prima a otros países. Sin embargo, también se elabora productos a partir de este fruto como: el puré de banano, banano deshidratado, banano con cobertura.

1.2.1. Puré de Banano

Desde 1985 el puré de banano es el principal producto elaborado de banano y es reconocido a nivel mundial por su excelente calidad. Para elaborar el puré de banano se utilizan frutas frescas, maduras y sin inicio de fermentación. Se obtiene generalmente después de seleccionar, lavar, pelar, homogenizar, desairar, calentar y enfriar.

El puré se puede mantener en buen estado si se lo envasa al vacío en recipientes adecuados luego de un tratamiento térmico como la esterilización para reducir la carga microbiana. (Navas, 2009)

El puré de banano se utiliza principalmente en la alimentación de los niños, ya que dadas las características alimenticias de esta fruta son necesarias para su completo desarrollo, además existen otros usos como en la industria de jugos de frutas, repostería, panadería y en la elaboración de productos de consumo diario.

1.2.2. Puré de Banano no Acidificado

Se elabora a partir del banano maduro, ácido ascórbico y ácido cítrico. Presenta un color típico, olor y sabor de la banana madura con cierto toque ácido, que es la característica que lo hace diferente del puré de banano no acidificado. Este producto no requiere refrigeración y puede durar hasta diez meses cuando es almacenado a la temperatura recomendada (15°C/30°C) en bolsas asépticas selladas. (Navas, 2009).

1.2.3. Puré de Banano Acidificado

Se obtiene del procesamiento de banano maduro y ácido ascórbico. Es de color, olor y sabor típico de la banana madura. No se requiere refrigeración y dura hasta seis meses cuando es almacenado a la temperatura recomendada (15°C – 30°C) en bolsas selladas. (Navas, 2009)

1.3. CARACTERIZACIÓN DEL PURÉ DE BANANO MADURO SIN SEMILLAS

La caracterización del puré de banano es de vital importancia, ya que permite identificar al alimento, de tal manera que se tenga certeza de la composición.

Tabla 3: Caracterización bromatológica del puré de banano sin semillas no acidificado.

CARACTERÍSTICAS BROMATOLÓGICAS	**ESPECIFICACION**	**NTE INEN 2 337:2008**
ºBrix a 20ºC, refractómetro Bellingham Ref. RFM340	Mín. 23	21
Acidez cítrica (%)	0,6	
pH a 20ºC	4,5	
Sólidos en suspensión (%) a 22ºBrix	Mín. 60	65
Semillas en 100 g pulpa	0	0
Consistencia Bostwick cm/30 seg a 20ºC	5	
CARACTERISTICAS MICROBIOLOGICAS	**ESPECIFICACION**	
Recuento de mesófilos UFC /g.	<10 Máx. 800	<3
E. coli UFC/g	<10	$1,0x10^3$
Recuento de mohos y levaduras UFC /g.	<10 Máx. 200	$1,0x10^3$
Esporas de mohos y levaduras UFC /10 g	<10 <10	$1,0x10^3$

Fuente: CONFOCO S.A., 2014.

Como podemos observar en la tabla 3 el puré de banano maduro producido por la Empresa CONFOCO, S.A. cumple con los límites permisibles exigido por la NTE INEN 2 337:2008 para este tipo de alimento.

1.3.1. Características Organolépticas

Las características organolépticas del puré de banano maduro sin semilla no acidificado se las puede reconocer mediante la utilización de los órganos o sentido en particular: la vista, el iodo, el tacto, el olfato y el gusto. No es necesario probar el alimento para aceptarlo.

La caracterización de la materia prima debe contener su origen, fuentes de las que proviene, información sobre los procesos a que se sometió y las limitaciones y restricciones sobre su composición (Lyndon, 1966).

Tabla 4: Características organolépticas del puré de banano maduro

CARACTERÍSTICAS	RESULTADOS
Color/apariencia	Amarillo brillante, opaco
Aroma	Típico a banano maduro
Sabor	Típico a banano maduro

Fuente: CONFOCO, S.A.

Como nos muestra la tabla 4, el puré de banano maduro sin semillas no acidificado posee las características organolépticas, similares a la materia prima de donde se lo elabora.

1.4. PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DE LOS CARBOHIDRATOS

1.4.1. Higroscopicidad

La capacidad de adsorción de agua es una de las propiedades fisicoquímicas más importante de los carbohidratos y depende, entre otros factores, de su estructura, de la mezcla de isómeros y de su pureza. La higroscopicidad está relacionada directamente con la presencia de grupos hidroxilo, los cuales son capaces de ligar agua mediante el

establecimiento de puentes de hidrogeno. Los azucares impuros y los jarabes absorben más agua y a más velocidad que los azucares puros ya que las impurezas dificultan el establecimiento de reacciones entre los azúcares y dejan libres los grupos hidroxilo que pueden unirse con facilidad a las moléculas de agua (Cambero, Fernandez, & Luisa, 2010).

1.4.2. Mutarrotación

Esta transformación de basa en el cambio en la rotación especifica hasta que se alcanza un final que corresponde al momento en el que las formas isómericas se encuentran en equilibrio. Bajo condiciones normales pueden tardar varias horas en alcanzarse el equilibrio y, en consecuencia, la rotación especifica característica de la solución.

El cambio de unas formas isómericas en otras sigue con facilidad por polarimetría, y los valores que alcanzan son característicos para cada azúcar en condiciones determinadas, ya que hay diferentes factores que influyen en esta transformación; así, los ácidos y las bases actúan como catalizadores, siendo las bases las más efectivas ya que aumentan considerablemente la velocidad de reacción. La temperatura influye de forma notable en el proceso aumentando la mutorrotación del orden de 1,5 a 3 por cada 10°C de incremento. (Cambero, Fernandez, & Luisa, 2010)

1.4.3. Estado Vítreo

El estado vítreo es un estado amorfo en el cual la viscosidad es tan alta que impide la cristalización del azúcar. Es un estado poco estable que puede alcanzarse por congelación, concentración rápida y deshidratación de una solución así como por fusión térmica de algunos azucares cristalinos seguida de un enfriamiento brusco que impide que las moléculas se reorganicen y formen un cristal.

Los azucares en estado vítreo son higroscópicos, lo cual contribuye a su inestabilidad ya que, al retener el agua, aumenta su movilidad y, en consecuencia, la velocidad de cristalización. (Cambero, Fernandez, & Luisa, 2010).

1.4.4. Cristalización

Una de las principales características de los azucares es su capacidad de formar cristales. Generalmente, la cristalización se consigue enfriando soluciones saturadas de los azucares con lo que se provoca la inmovilización y reorganización de las moléculas formándose un cristal. Los factores que más influyen en el crecimiento de los cristales son los siguientes: grado de saturación de la disolución original, temperatura, naturaleza de la superficie del cristal y naturaleza y concentración de las impurezas presentes en la disolución, las cuales pueden absorberse a la superficie de los cristales reduciendo así su velocidad de crecimiento (Cambero, Fernandez, & Luisa, 2010).

1.4.5. Poder Edulcorante

Uno de las propiedades más reconocidas de los carbohidratos es su poder edulcorante. Salvo muy pocas excepciones, los monos- oligosacáridos poseen sabor dulce y se diferencia entre sí, entre otras, por su poder edulcorante. Los más importantes son la sacarosa, la glucosa, la fructosa y lo jarabes de almidón. El poder edulcorante de un azúcar no está en función de su concentración, por lo que es imposible asegurar que un azúcar es n veces más dulce que otro. (Cambero, Fernandez, & Luisa, 2010)

1.5. REACCIÓN DE DEGRADACIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS

1.5.1. Carbohidratos

Los hidratos de carbono, azúcares o glúcidos, son compuestos químicos tales como: aldehídos cetonas polihidroxilicos, o productos derivados de ellos por oxidación, reducción, sustitución o polimerización. Los glúcidos desempeñan una gran variedad de funciones en los organismos, como una fuente energética formando material estructural de las membranas, esto entre otras muchas funciones, por lo que se consideran moléculas extremadamente versátiles. (Mathews, Van Holde, & Aher, 2004).

Atendiendo a su estructura, los carbohidratos se pueden clasificar en:

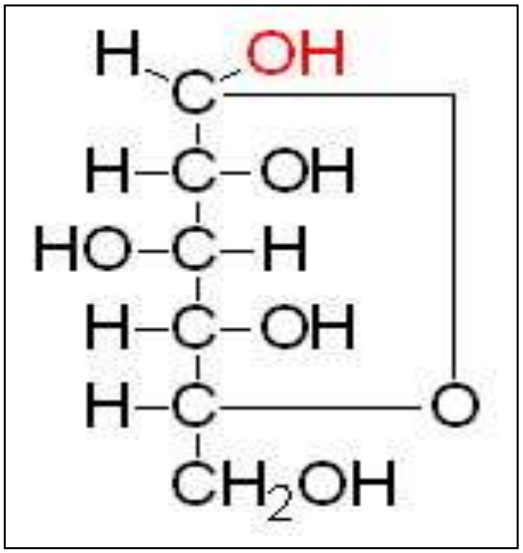
- Monosacáridos simples y compuestos.
- Oligosacáridos.
- Polisacáridos simples y compuestos.

1.5.2. Estructura Química de los Carbohidratos

Son compuestos que contienen cantidades grandes de grupos hidroxilo. Los carbohidratos más simples contienen una molécula de aldehído (a estos se los llama polihidroxialdehidos) o una cetona (polihidroxicetonas). Tolos los carbohidratos pueden clasificarse como monosacáridos, oliosacáridos o polisacáradidos. Un oligosacárido está hecho por 2 a 10 unidades de monosacáridos unidas por uniones glucosídicas. Los polisacáridos son mucho más grandes y contienen cientos de unidades de unidades de monosacáridos. La presencia de los grupos hidroxilo permite a los carbohidratos interactuar con el medio acuoso y participar en la formación de uniones de hidrogeno, tanto dentro de sus cadenas como entre cadenas de polisacáridos

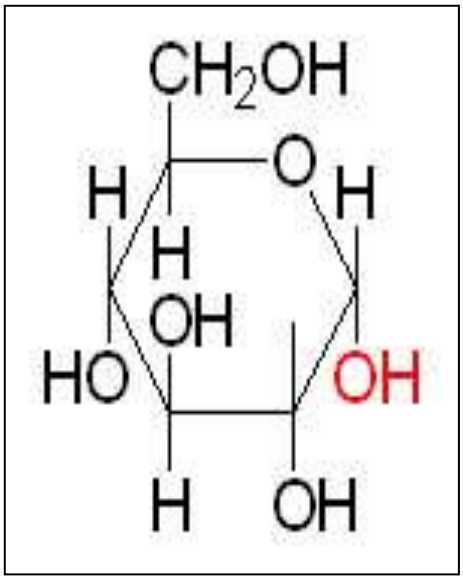
La estructura química de los carbohidratos puede ser representada por los diagramas **Fisher** o **Haword**. La numeración de los carbonos en los carbohidratos procede desde el carbono carbonilo, para las aldosas, o a partir del carbón más cercano al carbonil, para las cetosas.

Figura 1: Proyección cíclica de Fischer de la α-D- glucosa



Fuente: (Dergal, 2006)

Figura 2: Proyección de Haworth de la α-D- glucosa



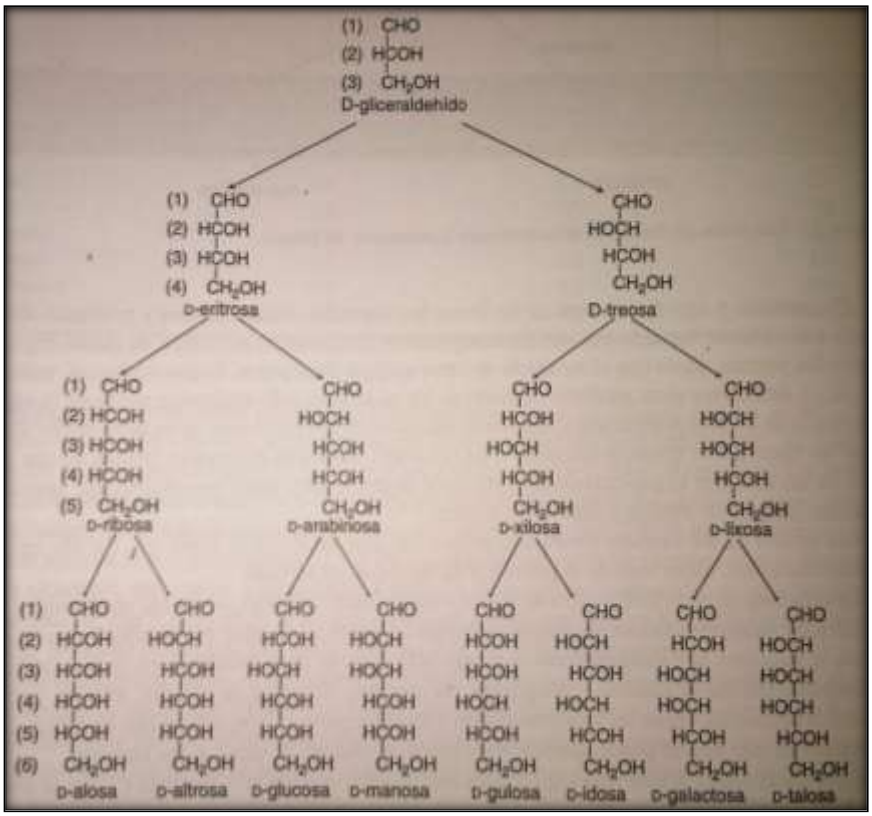
Fuente: (Dergal, 2006)

Los monosacáridos más comunes en la naturaleza, tales como las tetrosas, pentosas y hexosas, derivan del D-gliceraldehido con la adición de grupos CHOH a la cadena básica de carbono.

Es necesario hacer notar que las designaciones D y L no indican la dirección en la que el azúcar hace rotar el plano de luz polarizada; si se desea hacer mención de su poder rotatorio, deben incluirse signos (+) o (-), que corresponden a carbohidratos dextrorrotatorios o levorrotatorios, respectivamente.

El azúcar cuya única diferencia es la localización o posición de un solo hidroxilo que no sea el de referencia en su molécula se llama epímero. De acuerdo a ello, la glucosa es epímero de la maso en el hidroxilo el C-2; de igual manera, la glucosa y la galactosa son epímero por el hidroxilo del C-4. (Dergal, 2006).

Figura 3: Síntesis de los azucares



FUENTE: (Dergal, 2006)

1.5.3. Reacción de Maillard

La reacción de Maillard es el resultado de productos reductores, primariamente azúcares, que reaccionan con proteínas o con grupos amino libres. Esta reacción cambia tanto las propiedades químicas como fisiológicas de las proteínas. En general la acumulación de pigmentos de color marrón indica que la reacción se ha producido en alimentos que contienen hidratos de carbono y proteínas. En la industria láctea se emplea como indicador de un procesado térmico excesivo.

La reacción de Maillard avanzada puede seguir cinco rutas, dependiendo de las condiciones ambientales, del pH y la temperatura.

La reacción de Maillard se puede subdividir en tres etapas:

I Etapa inicial: Productos sin color, sin absorción en el espectrofotómetro UV.

Reacción A: Condensación azúcar-amina.

Reacción B: Reordenamiento de Amadori (Isomerización en medio ácido).

Reacción H: Reacciones por radicales libres.

II Etapa intermedia: Productos sin color o amarillos, con fuerte absorción en el UV.
Reacción C: Deshidratación de azúcares.
Reacción D: Fragmentación de azúcares.
Reacción E: Degradación de aminoácidos (Degradación de Strecker).

III Etapa final: Productos muy coloridos.
Reacción F: Condensación aldólica.
Reacción G: Condensación aldehído-amina y formación de compuestos heterocíclicos nitrogenados.

La reacción de Maillard se puede subdividir en tres etapas:

Reacción A: Condensación azúcar-amina. Formación de las glicosilaminas N-sustituidas.
Cada paso es reversible. La amina puede ser una proteína y se ha demostrado que la insulina reacciona con la glucosa a temperatura ambiente. La glicosilamina podría reaccionar con otra molécula de aldosa para dar una diglicosilamina. Las glicosilaminas N-sustituidas al calentarse dan compuestos nitrogenados fluorescentes, los cuales reaccionan rápidamente con la glicina para dar melanoidinas.

Reacción B: Reordenamiento de Amadori para la obtención de las 1-amino- 2-desoxi-2-cetosas N-sustituidas.
Es una reacción catalizada por ácido. Este reordenamiento no es reversible. Si reaccionan aldosas se forman 1-amino-2-desoxi-2-cetosas N-sustituidas, pero si son cetosas las que reaccionan se forman 2-amino-2-desoxialdosas N-sustituidas.

Reacción H: Reacciones por radicales libres.
Se ha comprobado la presencia de radicales libres estables en la formación de melanoidinas. Se ha concluido que pueden ser el azúcar o la glicosilamina los

compuestos de partida para esta reacción, con la formación de la base de Schiff y una oxidación subsecuente a la retroaldolización (Namiki, 1975)

Reacción C: Deshidratación de azúcares. Reacciones de Maillard, las dos rutas principales de la formación de melanoidinas a partir de los compuestos de Amadori.

Ocurre por dos caminos. Bajo condiciones ácidas se forman furfurales, y en condiciones alcalinas se forman las reductonas (Tosun, 2003).

Reacción D: Fragmentación de azúcares

El mecanismo por el cual ocurre principalmente una retroaldolización y una fisión oxidativa. La fragmentación de las hexosas puede ser en C5/C1, C4/C2 o C3/C3 (Weenen, 1996).

Reacción E: Degradación de Strecker.

Los compuestos dicarbonílicos de la reacción de Maillard reaccionan con el grupo α-amino de un aminoácido para formar una base de Schiff. La forma enólica es un α-aminoácido que se descarboxila con facilidad para dar un enaminol. El enaminol experimenta una autocondensación para formar un polímero café o bien una hidrólisis a la amina y al aldehído, correspondiendo el último al aminoácido original con un átomo de carbono menos. Los aldehídos que se forman por la degradación de Strecker constituyen muchos de los compuestos más importantes que tienen sabor en los alimentos (Strecker, 1862) .

Reacción F: Condensación aldólica. Formación de quinonas a partir de productos de fragmentación de los azúcares.

Los aldehídos pueden originarse de las reacciones C, D y E, y pueden reaccionar entre ellos por una condensación aldólica. También pueden participar en esta reacción los compuestos carbonílicos derivados de la oxidación de lípidos.

Las benzoquinonas pueden participar como componentes dicarbonílicos en la reacción de Strecker, formando iminas que pueden ser involucradas en la producción de melanoidinas.

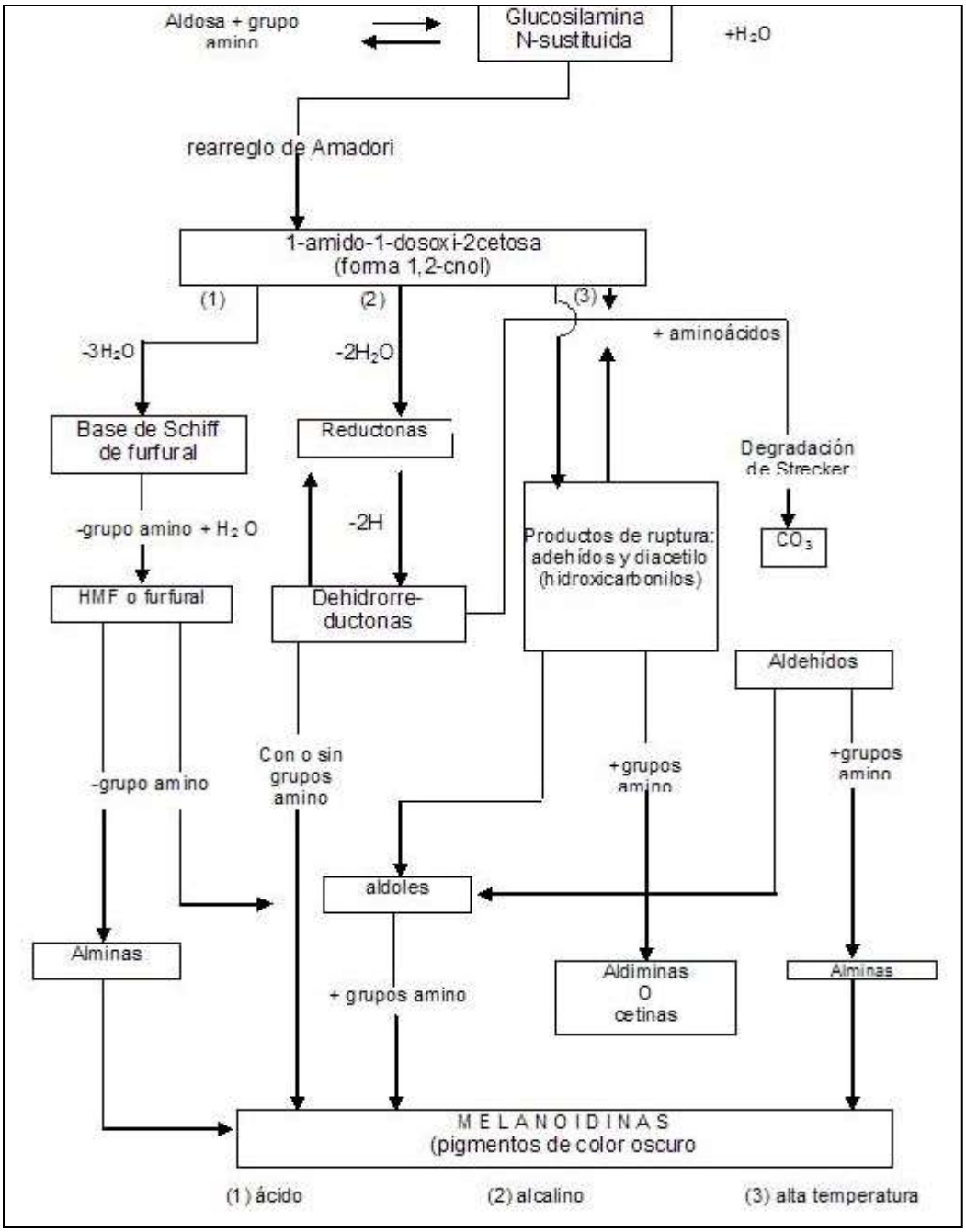
Reacción G: Condensación aldehído-amina. Formación de compuestos heterocíclicos nitrogenados.

Los aldehídos, y en particular los α, β-insaturados, reaccionan con aminas para dar polímeros de alta masa molecular, que son productos coloridos de estructura desconocida (melanoidinas). Se han encontrado sistemas heterocíclicos como piridinas, pirazinas, pirroles e imidazoles en las melanoidinas. La constitución de las melanoidinas depende de cómo hayan sido producidas (Kato & Hayase, 2002).

1.5.4. Oxido Reducción de Carbohidratos

Todos los monosacáridos reducen los reactivos de Fehling y de Tollens y por lo tanto son azucares reductores. La oxidación de los monosacáridos puede producirse de diversas formas, según el agente oxidante utilizado.

Figura 4: Oxidación de la glucosa.



Fuente: (Wade, 2010)

Los metales como el cobre y el hierro tienen un efecto catalizador sobre la formación de las melanoidinas, lo que indica el carácter de oxidación-reducción de la última etapa de este mecanismo. El oxígeno y las radiaciones electromagnéticas actúan de manera

semejante. La ausencia de estos agentes (metales, luz y oxígeno) no previene el inicio de la reacción ya que sólo favorecen la polimerización final (Wade, 2010).

1.5.5. Azucares Reductores

Los azucares reductores están constituidos por el conjunto de los azucares con función cetónica o aldehídica determinados por su acción reductora sobre la solución cupro-alcalina. (Cenzano, 2003).

1.6. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

1.6.1. Análisis de Azucares

Los hidratos de carbono en las frutas se presentan principalmente en forma de azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa). Desde el punto de vista químico, la glucosa y fructosa son monosacáridos. La reacción de color para medir la concentración de Carbohidratos solubles por espectrofotometría se basa en la utilización de un compuesto llamado antrona que se disuelve en ácido sulfúrico concentrado. El medio ácido hidroliza el enlace glicosídico de los oligosacáridos y los monosacáridos resultantes reaccionan con la antrona produciendo un color verde – azulado.

1.6.1.1. Procedimiento para la Determinación de Azucares Reductores Totales (Método de Espectrofotometría)

Prepare una serie de diluciones a partir de la solución stock de glucosa.

Las concentraciones deberán ser de 300, 150, 75 y 30 µg/ml. Utilice matraces volumétricos aforados con tapón y márquelos con la concentración correspondiente.

1. Pipetee 1 ml de cada solución estándar de glucosa y agua destilada como blanco en tubos de ensayo con capacidad de 25 ml aforados.
2. Añada 1 ml de reactivo alcalino de Nelson.
3. Mezcle. Coloque los tubos en un baño de agua hirviendo durante 20 minutos y enfríelos al chorro de agua fría.
4. Añada 1 ml. de arsenomolibdato.
5. Mezcle bien por un período de 5 min. (Para disolver el CuO para reducir el arsenomolibdato).
6. Afore a 25 ml con agua destilada y mezcle.

7. Lea la absorbancia a 520 nm.

Grafique la absorbancia contra la concentración (µg/g). Utilice esta curva estándar para determinar la concentración de glucosa en las muestras de frutas.

1.7. CINETICAS DE PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO

Para el estudio de las reacciones de pardeamiento no enzimático es imprescindible conocer su cinética y, en concreto, la velocidad con la que se produce el pardeamiento, aspecto que viene dado por la constante de velocidad. También es importante conocer el efecto de la temperatura y concentración sobre la cinética de la reacción. A pesar de todo, la multitud de componentes y la complejidad de las reacciones obligan a obtener una aproximación cinética experimental. (Gonzalez, Ibarz, & Vicente, 1998).

1.7.1. Molecularidad y Orden de Reacción

Se llama molecularidad al número de moléculas de reactivos que colisionan simultáneamente para formar el complejo activado en una reacción elemental. Se trata de un número entero y positivo. Así hablamos de reacciones unimoleculares, bimoleculares, trimoleculares, etc. Generalmente, en reacciones elementales, coincide con el orden de reacción. Sin embargo, existen casos en los que no coinciden, como las reacciones de hidrólisis en los que interviene una molécula de agua ya que al ser [H_2O] prácticamente constante la velocidad es independiente de ésta.
Experimentalmente se demuestra que las velocidades de reacción dependen de la temperatura, la presión y las concentraciones de las especies implicadas. Por consiguiente para la velocidad de reacción del componente A podemos escribir:

$$(-r)_A = f\ (\text{temperatura, presión, composición})$$

Estas variables están relacionadas en el sentido de que la presión queda determinada dada la temperatura y la composición. Por lo que podemos escribir:

$$(-r)_A = f\ (\text{temperatura, composición})$$

Uno de los requisitos previos que establecimos fue el de mantener la isotermicidad en nuestros reactores para realizar el estudio cinético. Por lo tanto nos queda:

$$(-r)_A = f\ (\text{composición})$$

En muchas reacciones la velocidad de desaparición de reactivos se puede expresar como el producto de una constante de velocidad y una función de la concentración de varias de las especies implicadas en la reacción. Para la siguiente reacción:

$$aA + bB \quad \rightarrow cC + dD$$

Podemos expresar la velocidad de desaparición de la especie A como:

$$(-r_A) = -\frac{d[A]}{dt} = K\ C_a^{\alpha}\ \ C_b^{\beta}$$

Donde α y ß son los ordenes de reacción correspondientes al compuesto A y B respectivamente y k es la constante de velocidad de la reacción, que es función de la temperatura. Por ahora con la condición previa de tener que trabajar con reactores isotermos la consideraremos de valor constante. Más adelante se estudiará su funcionalidad con la temperatura.

1.7.2. Coeficiente Cinético K

Cuando una expresión cinética para una reacción química homogénea está escrita en la forma de la ecuación

$$r_A = k\ C_A^a\ C_B^b \ldots\ldots\ldots C_D^d, \quad a+b+\ldots\ldots..+d = n$$

Las dimensiones del coeficiente cinético k para la reacción n son:

$$(\boldsymbol{tiempo})^{-1}\ \ (\boldsymbol{concentraci\acute{o}n})^{1-n}$$

Y para una reacción de primer orden será simplemente

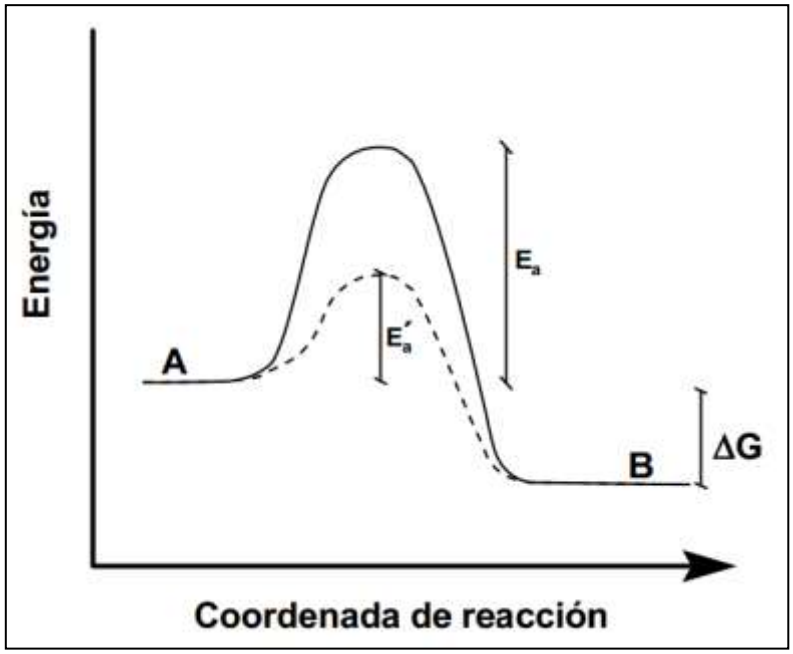
$$(\boldsymbol{tiempo})^{-1}$$

1.7.3. Velocidad de Reacción

Una reacción de degradación de los carbohidratos A → B ocurre cuando una cierta cantidad de A alcanza un estado de activación que la permite transformarse en B estableciendo un nuevo enlace químico.

La diferencia entre la energía del estado basal y la máxima energía alcanzada se denomina energía de activación. Un catalizador disminuye la energía de activación (Ea´ en la figura 5) y permite incrementar la velocidad con que cursa la reacción a una temperatura constante. Los catalizadores no cambian sin embargo el cambio de energía que acompaña la transformación de A en B.

Figura 5: Energía de activación de una reacción



Fuente: (FBIOYF, 2014)

Cuando un sistema se deja reaccionar, la concentración de los componentes alcanza un valor fijo que depende de la naturaleza de los reactantes. Esa situación se conoce como equilibrio químico.

En el equilibrio, la variación de energía libre es 0.

Para un sistema de reacción A + B → C + D, el contenido de energía libre viene dado por:

$$\Delta G = \Delta G^{o} + RT ln \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

y está definido por una constante de equilibrio

$$K_{eq} = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

Se puede definir la energía libre estándar de una reacción como

$$\Delta G^0 = -2{,}3\ RT\ log\ K_{eq}$$

Cuando la reacción tienda a ir en el sentido de los productos C y D, entonces [C] x [D] > [A] x [B], ([C] x [D] / [A] x [B]) > 1, log Keq > 0 y ΔG° < 0, se está en presencia de una reacción exergónica, que libera energía, está favorecida termodinámicamente. Si es a la inversa, ΔG° > 0, es endergónica, no se da espontáneamente (FBIOYF, 2014).

1.7.4. Modelos Cinéticos para el Pardeamiento no Enzimático

El estudio de las reacciones de pardeamiento no enzimático, su cinética y velocidad de reacción, así como el efecto de la temperatura y la concentración sobre dicha cinética, se lleva a cabo mediante el análisis de diferentes parámetros relacionados con el pardeamiento no enzimático. Según (Gonzalez, Ibarz, & Vicente, 1998) además de las medidas calorimétricas los parámetros más relevantes son:

-Determinación del contenido de ácido ascórbico.
-Determinación del contenido en azucares y grupo amino libres.

1.7.4.1. Cinética de Primer Orden

El puré de banano, debido a su particular composición química, la principal vía de pardeamiento no enzimático es la reacción de Maillard.
La presencia de colores pardos sirve como indicador de tratamientos térmicos excesivos o almacenamientos inadecuados. Este mecanismo de degradación puede darse tanto en presencia como en ausencia de oxígeno y, generalmente, puede caracterizarse por una cinética de desaparición de primer orden (Labuza L. y., 1975).

La expresión para este modelo matemático viene dada por la siguiente ecuación:

$$C_A = C_A^0 \, exp\,(-k_1 t)$$

Donde C_A^0 es la concentración inicial de azúcares; C_A es la concentración de azucares a un determinado tiempo t y k son la constante de cinética de primer orden.

1.7.4.2. Cinética de Segundo Orden

Sin embargo otros autores proponen un modelo cinético de segundo orden, para describir la presencia de colores pardos en el alimento sometido a altas temperaturas de almacenamiento (20-30 °C) dicho modelo viene dado por la siguiente expresión:

$$C_A = \frac{C_A^0}{\mathbf{1} - \; C_A^0 k_2 t}$$

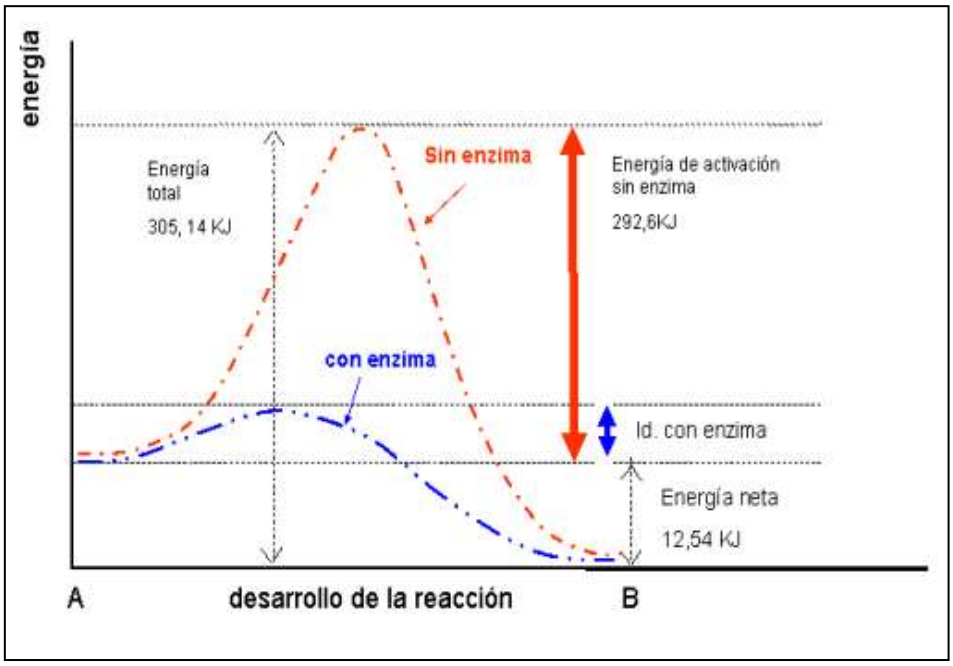
Donde C_A^0 y C_A la concentración inicial y aun tiempo determinado de azucares de azúcares respectivamente y k_2 es la constante cinética de segundo orden.

1.7.4.3. Energía de Activación

La energía de activación (E_α) es un término que introdujo Arrhenius y se define: E_α =RT^{2}dln(k)/dT. Es decir, la derivada del logaritmo con base e de la constante de reacción respecto a la temperatura, multiplicada por la constante de los gases y por la temperatura al cuadrado. Pudiendo ser la Energía de activación un número positivo o negativo.

La energía de activación (E_α) en química y biología es la energía que necesita un sistema antes de poder iniciar un determinado proceso. La energía de activación suele utilizarse para denominar la energía mínima necesaria para que se produzca una reacción química dada. Para que ocurra una reacción entre dos moléculas, éstas deben colisionar en la orientación correcta y poseer una cantidad de energía mínima. A medida que las moléculas se aproximan, sus nubes de electrones se repelen.

Figura 6: Energía de activación de una reacción enzimática



Fuente: (Namiki, 1975)

La energía de activación puede ser el calor. Aumenta el movimiento de las moléculas y la energía, con lo que el número de moléculas activadas se eleva y la reacción se acelera (en muchas reacciones la velocidad se duplica por cada 10º C). En las células, la temperatura produciría la muerte de la materia viva y además se acelerarían indiscriminadamente millares de reacciones (Namiki, 1975).

La temperatura influye en las reacciones catalizadas enzimáticamente siguen la regla de Vant Hoff. Según la cual, por cada 10ºC de aumento de temperatura, la velocidad de la reacción se duplica. No obstante, las enzimas tienen una temperatura óptima en la que su actividad es máxima. En los animales homeotermos como el hombre, esta temperatura óptima coincide con la temperatura normal del organismo. Las temperaturas inferiores al valor óptimo dan lugar a una disminución de la vibración molecular que hace más lento el proceso, mientras que temperaturas superiores a la óptima pueden provocar la desnaturalización y pérdida de su funcionalidad (Molina, 2010).

Cinética de muerte Valores de Z y D

El tiempo de reducción decimal (D) se define como el tiempo necesario para reducir la concentración inicial a la décima parte a una temperatura dada.

Sabiendo que el cálculo de D implica que la concentración inicial es diez veces su valor, su valor vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$D = \frac{2{,}303}{k}$$

Así pues el tiempo de tratamiento térmico está relacionado con D a través de la siguiente ecuación:

$$t = D \log \frac{N_0}{N}$$

La sensibilidad de azucares reductores a la temperatura se mide por medio del parámetro Z, que se define como el incremento de temperatura preciso para el valor de D a la décima parte. El Parámetro Z está relacionado con D a través de la siguiente expresión:

$$\log \frac{D_{T_1}}{D_{T_2}} = \frac{T_2 - T_1}{Z}$$

Relación entre E_a y Z

La E_a determina la influencia de la temperatura sobre la constante cinética. Supuesto que la temperatura pasa de $T_1 - T_2$, la diferencia entre la nueva y la anterior constante vendrá dada, en términos logarítmicos y según la ecuación de Arrhenius por:

$$\log \frac{k_{T_1}}{k_{T_2}} = \frac{E_a}{2{,}303\ R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

Sabiendo que $D = k/2{,}303$ se puede decir que

$$\log \frac{k_{T_1}}{k_{T_2}} = \log \frac{D_{T_1}}{D_{T_2}}$$

Ecuación se sustituida en la expresión se transforma en:

$$\log \frac{k_{T_1}}{k_{T_2}} = \frac{T_2 - T_1}{Z}$$

La igualación de la ecuaciones permite expresar la energía de activación en función de Z y de T_1 y T_2.

$$E_a = \frac{2{,}303\ R}{Z}\ (T_1 \text{ x } T_2)$$

1.7.4.4. Relación del Pardeamiento no Enzimático con el Valor Q_{10}

Los productos coloreados asociados al Pardeamiento no enzimático se producen por reacciones múltiples, que pueden clasificarse en los siguientes grupos:

a) Reacciones de Maillard de condensación amino-carbonilo, que incluyen las reacciones de aldehídos, cetonas y azúcares reductores con aminas, aminoácidos, péptidos y proteínas.

b) Reacciones de caramelización que aparecen cuando compuestos carbohidratos se calientan en ausencia de compuestos amino. Tienen una gran similitud con las de Maillard, siendo la principal diferencia la necesidad de condiciones de reacción mucho más vigorosas en ausencia de aminas y la formación de productos coloreados sin nitrógeno.

c) Descomposición térmica espontánea del ácido ascórbico, tanto en condiciones anaeróbicas como aeróbicas, en presencia o ausencia de compuestos aminados.

En condiciones anaeróbicas, se produce dióxido de carbono, furfural y ácido 2,5-dihidro-2-furoico. Sin embargo, en presencia de oxígeno se produce el ácido dehidroascórbico.

Estas reacciones se producen en el almacenamiento de los alimentos, ocurren varios cambios químicos donde están involucrados los componentes internos del alimento y los factores medioambientales externos. Estos cambios pueden causar la deterioración del alimento y pueden reducir la vida útil.

Los cambios químicos más importantes es el pardeamiento no-enzimático que causa cambios en la apariencia del alimento y de esta forma se reduce el tiempo de vida útil del alimento (Posada, 2011).

1.8. PASTEURIZACIÓN

Proceso térmico al cual se somete el puré de banano maduro a 75 ºC por 15 segundos, con la finalidad de evitar el deterioro de puré. Este método, conserva el puré por inactivación de sus enzimas y la destrucción de los microorganismos relativamente termo sensible.

Los equipos pasteurizadores utilizados son intercambiadores de calor de placas (CONFOCO, 2014).

1.8.1. Elección de las Condiciones de Pasteurización

La pasteurización del puré de banano maduro es un proceso que combina tiempo y temperatura para asegurar la destrucción de todas las bacterias patógenas que pueden estar presentes en el producto crudo con el objetivo de mejorar su capacidad de conservación. El CONFOCO, S.A. se somete el puré a 73 °C por 15 segundos utilizando un pasteurizador de placas (CONFOCO, 2014).

Aplicando este método de pasteurización se consigue la destrucción de todos los microorganismos patógenos presentes en el puré crudo, evitando así cualquier riesgo de transmisión de enfermedades al consumidor. Además, mediante este procesamiento térmico se logra destruir también la casi totalidad de la flora asociada, prolongando así la vida útil del puré.

1.8.2. Sistemas de Pasteurización

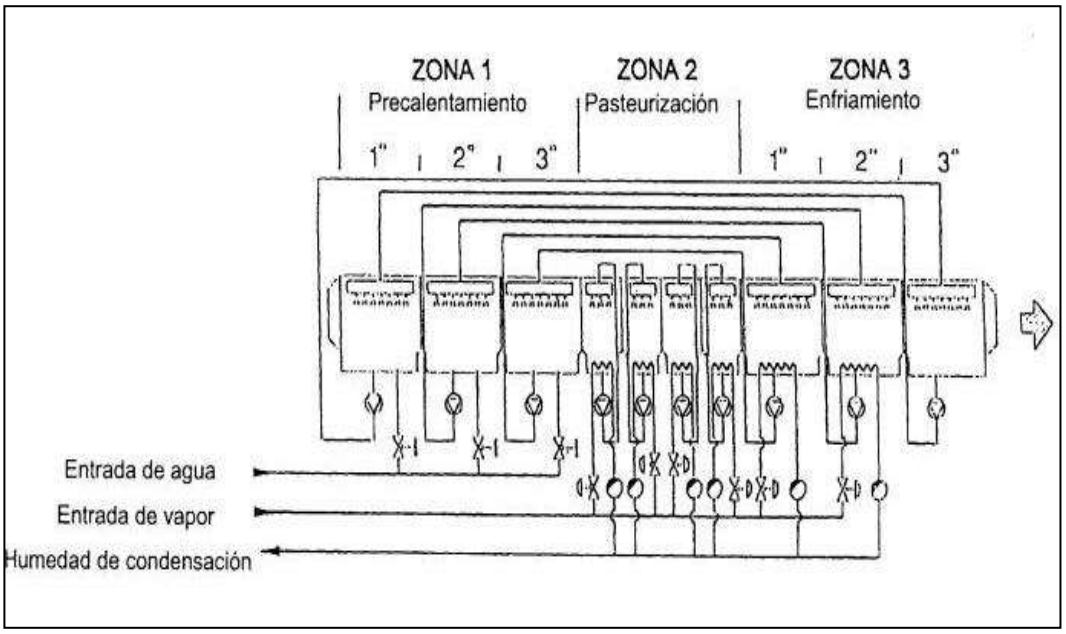
CONFOCO, S.A. aplica el proceso de pasteurización del manual Guidance for Industry: Juice HACCP Hazards and Controls Guidance de la Food Drug Administration (FDA), que exige a las industrias procesadoras de alimentos, una reducción de 5-log sobre el microorganismo más termo resistente que afecte a la salud pública. Mediante la aplicación de una pasteurización de 75ºC x 15 segundos, se consigue eliminar hasta el microorganismo más termo resistente.

1.8.3. Equipo de Pasteurización para Alimentos Envasados

El tipo de pasteurización al cual se hará referencia a continuación es la "pasteurización a baja temperatura" y se hará referencia específica a productos alimenticios envasados. Esto significa que tiene lugar a una temperatura por debajo de 90ºC por medios de agua caliente que se pulveriza de manera programada sobre los contenedores para modificar su temperatura de acuerdo a un ciclo térmico definido.

El aparato mediante el cual se logra el proceso de pasteurización esencialmente se compone de un túnel a través del cual se trata el producto ya envasado en su contenedor (botella, lata u otro contenedor) que se lo hace avanzar por el túnel por medio de un transportador. Desde el punto de vista térmico, el túnel esencia mente está dividido en tres áreas: una primera área (área 1) para precalentar, donde la temperatura del producto se aumenta hasta un valor determinado, por encima del cual tiene lugar el tratamiento térmico verdaderamente dicho; una segunda área (área 2) para el tratamiento térmico; una tercera área (área 3) para el enfriamiento, donde el producto es llevado brusca mente a la temperatura ambiente para impedir indeseados fenómenos de fermentación (España Patente nº ES 2 265 408 T3, 2007) .

Figura 9: Pasteurizador para alimentos envasados en vidrio o hojalata



Fuente: (España Patente nº ES 2 265 408 T3, 2007)

El Pasteurizador de alimentos envasados calienta y controla la temperatura del proceso de pasteurización, posee una banda transportadora de tal manera que hace avanzar el producto, esta subdividido en una primera área de precalentamiento, una segunda área de pasteurización y una tercera área de enfriado, dichas primera, segunda y tercera área siendo consideradas, cada una, subdivididas, en su longitud, en dos o más subáreas elementales térmicamente independientes, cada una de las cuales comprendiendo un circuito hidráulico que permite pulverizar, con agua a una temperatura predeterminada, el producto envasado, el cual circuito hidráulico a su vez comprende un rociador, y un subyacente tanque de recolección y una tubería que conecta el tanque de recolección con el rociador, dicho aparato estando provisto al me nos dé un intercambiador de calor que comprende por lo menos un circuito primario y por lo menos un circuito secundario, caracterizado por el hecho que dicho intercambiador de calor comprende una pluralidad de circuitos secundarios, cada uno de dichos circuitos secundarios estando conectado a dicho circuito hidráulico de una subárea, cada mencionado circuito secundario estando provisto de medios para controlar la temperatura del agua del rociador comprendido en dicho circuito hidráulico de la subárea a la cual está conectado el mismo circuito secundario (España Patente nº ES 2 265 408 T3, 2007).

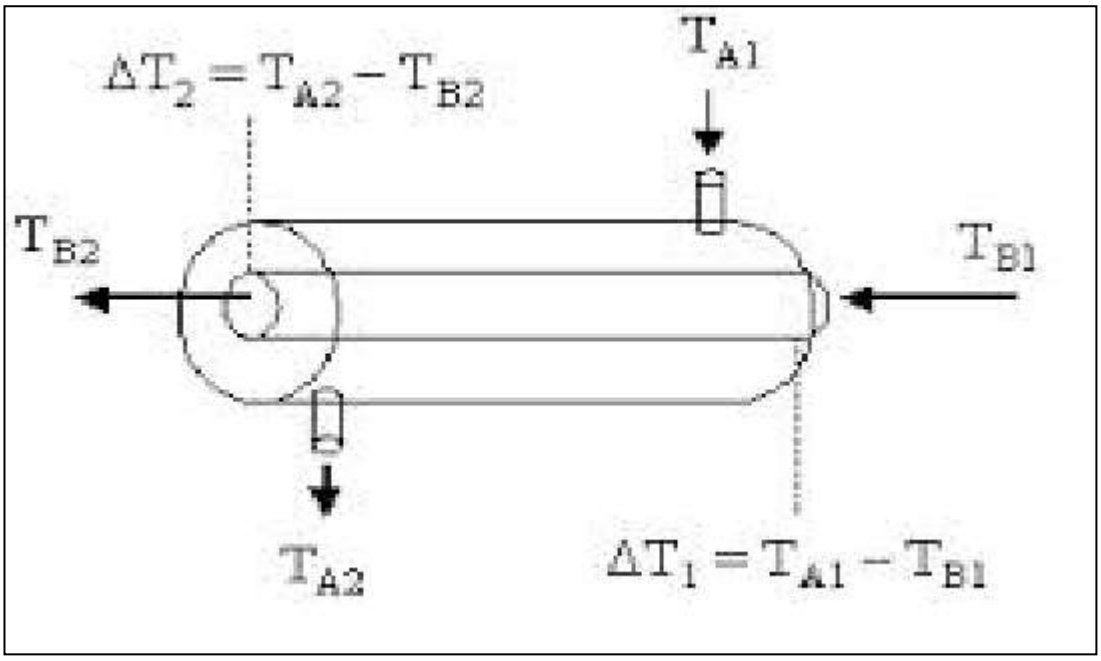
1.8.3.1. Generalidades de Cambiadores de Calor

Este equipo lleva a cabo este intercambio se denomina intercambiador de calor, y las aplicaciones específicas se pueden encontrar en calefacción de locales y ambientes, acondicionamiento de aire, producción de potencia, recuperación de calor de desecho y algunos procesamientos químicos.

Los intercambiadores de calor son ampliamente utilizados en la industria alimenticia, que su diseño ha experimentado un gran desarrollo, existiendo en la actualidad normas que especifican con detalle los materiales, métodos de construcción, técnicas de diseño y sus dimensiones.

El intercambiador de calor más sencillo se compone de un tubo dentro de otro tubo, a continuación se muestra en la figura 10.

Figura 10. Intercambiador simple de tubos concéntricos



Fuente: (Termo Web, 2008)

Este montaje de corrientes paralelas funciona, tanto en contracorriente como en equicorriente, circulando el fluido caliente o el frío a través del espacio anular, mientras que el otro fluido circula por la tubería interior (Termo Web, 2008).

1.8.3.2. Cambiadores de Calor Tubulares

El intercambiador de calor de tubos es un intercambiador de tubos rectos con uno o más tubos ubicados en una carcasa. Los tubos internos pueden ser planos o corrugados. La corrugación y la optimización de la relación de áreas producto / medio incrementan la eficiencia del intercambio térmico de nuestros equipos. El diseño modular permite una fácil instalación y fácil extensión para futuras modificaciones. – el multitubo con intercambio de calor indirecto, apto también para productos con trozos de longitud hasta aprox. 18 mm. El producto es conducido por varios tubos interiores rectos, envueltos en medio calor portador en un tubo envolvente. El tubo interior se encuentra fijo o suspendido con el fin de compensar las dilataciones longitudinales que se dan a raíz de la diferencia de temperatura existente entre el tubo envolvente y el tubo interior.

1.8.4. Pasteurizador de Tubos Concéntricos

El pasteurizador de doble tubo es el tipo más simple que se puede encontrar de tubos rectos, está formado por varias unidades, cada una de ellas se llama horquilla y se arma con tubos roscados o bridados. Las uniones también pueden ser soldadas, pero no es lo habitual ni lo recomendable pues dificulta el armado y desarmado para su limpieza.

Los intercambiadores de doble tubo se los puede configurar de dos maneras que detallaremos a continuación:

1. Los dos fluidos circulan en la misma dirección: flujo paralelo.

2. Los dos fluidos circulan en direcciones contrarias: flujo contracorriente.

Están constituidos por dos tubos concéntricos, un fluido circula por el tubo interior y el otro por la superficie que queda entre ambos tubos, la transferencia se realiza a través de la pared del tubo interior.

Los pasteurizadores de tubos concéntricos tienen muchas características positivas tanto como negativas, las cuales detallaremos a continuación y queda a criterio del diseñador la decisión de tomar en cuenta.

Flexibilidad: este tipo de intercambiadores son fáciles de armar y mantener.

Repuestos: los repuestos son fácilmente intercambiables y obtenibles en corto tiempo.

Superficie: La superficie útil de intercambio es fácil de modificar para adaptar el intercambiador a cambios de condiciones de operación, simplemente conectando más horquillas o anulándolas, operaciones en las cuales tan solo requiere de varios minutos.

Mano de obra: No requieren de mano de obra especializada para el armado y mantenimiento.

Este tipo de intercambiadores de calor se los emplea principalmente: cuando un fluido es un gas, o un líquido viscoso, o su caudal es pequeño, mientras el otro es un líquido de baja viscosidad, o con alto caudal (Cengel, 2003).

- Adecuados para servicios con corrientes de alto ensuciamiento, con lodos sedimentables o sólidos o alquitranes por la facilidad con que se limpian.
- Para uso industrial como, Alimenticio, Plantas Siderúrgicas y otros más.
- Enfriadores de aceite.
- Manejo de sustancias corrosivas.
- Enfriadores de agua.
- En aplicaciones dónde se requieren diferenciales cortos de temperatura.
- Para usos de fluidos de alta viscosidad

Figura 11: Pasteurizador de tubos concéntricos

Fuente: (Cengel, 2003)

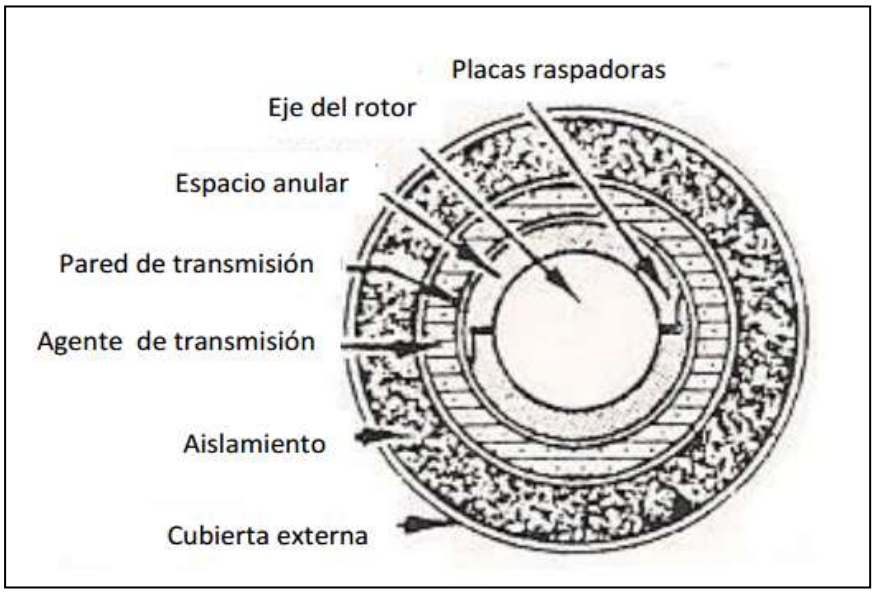
1.8.5. Intercambiador de Superficie Rascada

El calentamiento de productos de alta viscosidad en la industria alimentaria se hacía primeramente en marmitas calentadas con vapor saturado, donde la posibilidad de controlar y optimizar el tratamiento era muy limitada. El aumento de la demanda para optimizar la eficiencia y ahorrar mano de obra durante los procesos en la industria favorecieron la implementación del calentamiento con intercambiadores de calor; para el manejo de productos de alta viscosidad el más adecuado es el Intercambiador de Calor de Superficie Raspada (ICSR) (Harrod, 1986).

El intercambiador de calor de superficie raspada es un equipo de transferencia de calor que fue patentada en 1926 por Clarence Vogt en un esfuerzo por desarrollar un congelador más eficiente para la elaboración de helados. El diseño incorporó una acción de raspado para evitar la acumulación de crema congelada en la superficie de transferencia de calor, tal como se muestra en la Figura 1. El concepto fue un éxito, se mejoró la eficiencia térmica y la capacidad de producción aumentó (Hui, 1992).

Estos tipos de intercambiadores se pueden utilizar para la cristalización de azúcares en leche condensada, como reactores químicos, para la cocción de confituras, carnes, jarabes, el enfriamiento de pastas, para féculas comestibles, para la pasteurización de cremas, concentrados de frutas y hortalizas (Harrod, 1986), entre muchas otras aplicaciones.

Figura 12: Corte transversal de un intercambiador de superficie rasgada



Fuente: (Brennan, 1980).

En el intercambiador de corte transversal de superficie rasgada, el producto es alimentado a través de un tubo central mientras que el medio de calentamiento o de enfriamiento circula en el espacio anular entre el cilindro y el enchaquetado (Hui, 1992). El tubo central está equipado con un rotor central giratorio que arrastra por la superficie caliente un dispositivo raspador. Esto impide que los alimentos se quemen y

se peguen a las superficies calientes, a la vez que agita y mezcla el producto (Shafiur Rahman, 2003).

Este mecanismo de transporte convectivo inducido favorece la transferencia de calor (Van & De Fielliettaz, 1983).

Al eliminar continuamente el producto de las paredes del cilindro, la capa de producto se reduce al mínimo, lo cual permite largas sesiones de trabajo sin que el producto se acumule en las paredes del intercambiador de calor. Sus ventajas son: a) es capaz de procesar productos sensibles al calor, b) es versátil para procesado aséptico, c) los productos pueden ser procesados en un amplio intervalo de temperaturas y viscosidades y d) puede usarse en serie con intercambiadores de calor de otro tipo (Shafiur Rahman, 2003).

Para ser capaces de entender y predecir el funcionamiento de los ICSR, es necesario tener conocimiento de los efectos de mezclado para varios patrones de flujo y conocer como los efectos de mezclado controlan las condiciones de tiempo y temperatura para las moléculas durante el proceso (Harrod, 1986). El patrón de flujo depende de los números de Reynolds. El número de Reynolds axial (Rea), que se basa en la velocidad media axial (cantidad de flujo volumétrico dividido por la sección transversal) y el número de Reynolds rotacional (Rer) que se basa en la velocidad tangencial del cilindro interior o los raspadores o paletas del intercambiador. Cuando la velocidad de rotación incrementa, aparecen los vórtices de Taylor, dando lugar a la aparición de un número de Reynolds rotacional crítico para el cual Beber y Kaye (1962) proponen que depende de la relación entre el diámetro del rotor y el diámetro del tubo. Cuando la velocidad de rotación se incrementa, los vórtices pueden perturbar y finalmente permitir la aparición de turbulencia (Lakhdar, 2005).

Los otros factores que determinan el patrón de flujo en un ICSR son: longitud del equipo, tiempo, diferencias de temperaturas radiales, el tipo de fluido (newtoniano o no newtoniano) y los raspadores internos (el número y la distancia entre estos y la pared del intercambiador) (Harrod, 1986; Lakhdar et al., 2005). Skelland y colaboradores (1962), propusieron la ecuación (1) para poder predecir el coeficiente interno de transferencia de calor (h) teórico para el ICSR (Van & De Fielliettaz, 1983).

$$\frac{hD}{k} = \alpha \left[\frac{Cp\mu}{k}\right]^{\beta} \left[\frac{(D - D_s)\, v\rho}{\mu}\right]^{1.0} \left[\frac{DN}{v}\right]^{0.62} \left[\frac{D_s}{D}\right]^{0.55} |n_B|^{0.53}$$

α = 0.014 y = 0.96 para fluidos viscosos

α = 0.039 y = 0.70 para fluidos no viscosos

Donde:

D = Diámetro interno del recipiente (m)

Ds = Diámetro del eje giratorio (m)

V = Velocidad axial de flujo del fluido (m/s)

n_β = Número de raspadores

N = Velocidad de rotación de los raspadores (rps)

μ = Viscosidad del fluido (Pa.s)

ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

Cp = Capacidad calorífica del fluido (J/kg°C)

K = Conductividad térmica del fluido (W/m^oC)

H = Coeficiente de transferencia de calor ($w/m^{2o}C$)

Los datos cubren un intervalo de velocidades de flujo axial de 0.076 a 0.38 m/min y velocidades de rotación entre 100 y 750 rpm. Para manejar esta ecuación fue necesario conocer las propiedades reológicas y térmicas del fluido.

1.8.6. Envasado Aséptico (Equipo Schoeller)

En esta etapa del proceso es necesarias condiciones asépticas para producir un producto pasteurizado con una vida microbiológica larga y que puede distribuirse a temperatura ambiente es el envasado aséptico. Este tipo de envasado difiere de las técnicas convencionales de enlatado en que los envases son preesterilizados y después llenados

con el producto frío y un ambiente frío en condiciones comerciales estériles, seguido del cierre en un entorno totalmente estéril.

El envasado aséptico consiste en sistema de llenado que funcionan en condiciones estériles en máquinas herméticamente selladas equipadas con sistemas de esterilización para el envasado antes del llenado, utilizando peróxido de hidrógeno que se distribuye a través de una corriente de aire caliente, creando así una atmósfera libre de bacterias en la sección de llenado.

Antes del envasado, se lleva a cabo un acondicionamiento aséptico, que consiste en desinfectar todos los componentes utilizados en el dicho acondicionamiento, limpieza y etapas de esterilización dirigidas a reducir la contaminación inicial:

- Del recipiente.
- Del sistema de cierre.
- De los materiales utilizados.
- Del entorno.

Beneficios del aséptico.

La enorme eficiencia de los tratamientos térmicos durante el proceso aséptico permite mantener todo el sabor del producto y los componentes nutritivos. Así, la calidad final del producto es mayor que la obtenida con el proceso térmico tradicional. Otras ventajas:

- No se necesitan los conservantes químicos.
- Costes de transporte más bajos que el IQF o Congelación Rápida e Individual (Individual Quick Freezing).
- Descenso en los costes de almacenamiento.

Envases asépticos.

Debemos poner una atención especial al envase. El envase en los sistemas de envasado aséptico juega un papel muy importante, porque si no se cierra herméticamente para proporcionar una barrera efectiva al oxígeno y a la luz, la esterilización adquirida en las etapas de preparación se perderá.

Si el envase es permeable al oxígeno y a la luz, éstos naturalmente generarán diferentes reacciones de oxidación, dependiendo del producto contenido en el envase.

Actualmente existen en el mercado varias formas de envases asépticos, comúnmente llamados Bolsas Asépticas. Los componentes de este tipo de envase son:

- La bolsa.
- Una boquilla de llenado.
- Un tapón.
- Un contenedor.

Los tamaños más comunes de las bolsas son 5, 10, 20 y 200 Kg, aunque los pesos pueden variar con la densidad específica del producto que contienen.

El material de barrera de las bolsas es normalmente poliéster metalizado al vacío o alcohol de vinilo etílico, mientras que el cuerpo de la bolsa suele ser de polietileno de baja o media densidad (Heat Exchangers, 2014).

2. METODOLOGÍA

2.1. LOCALIZACION DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud.

2.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo investigativo, se realizó un estudio:

Descriptivo: conocer las situaciones predominantes a través de la descripción exacta de los procesos. El objetivo no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables.

Experimental: se manipulo las variables experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular y su efecto en las conductas observadas.

2.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se realizó un diseño experimental para estudiar el comportamiento del producto expuesto a tres temperaturas diferentes durante una hora, para medir la degradación de los azucares reductores en el puré de banano maduro.

Los experimentos y sus variables antes descrito se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Diseño del experimento

Factor (tiempo , horas)	**Factor B (Temperatura, ºC)**		
	T_1= 60	**T_2 = 70**	**T_3 = 80**
1	X	X	X
1	X	X	X
1	X	X	X

Fuente: Loayza, 2014.

Tratamientos

Tratamiento A = Pasteurización del puré de banano a 60 ºC por 1 hora

Tratamiento B = Pasteurización del puré de banano a 70 ºC por 1 hora

Tratamiento C = Pasteurización del puré de banano a 80 ºC por 1 hora

2.4. MÉTODOS ANALÍTICOS

Todas las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado

2.4.1. Obtención de la Curva de Calibración(Glucosa)

En cinco matraces aforados (100 ml) se los rotulo con letras de la A, B, C, D y E. En cada matraz rotulado, se pipeteó los volúmenes de solución estándar de glucosa y agua destilada.

1. Rotular y llenar seis tubos de muestra tal y como se especifica en la tabla 6

2. Calentar los tubos de medida y sus contenidos en agua hirviendo durante 5 min. El reactivo DNS reacciona con los azúcares presentes, generando un producto rojo-marrón.

3. Enfriar los tubos de medida, añadir 6 ml de agua destilada a cada tubo y agitar bien.

4. Usando espectrofotometría UV visible (540 nm), medir la absorbancia de cada solución.

2.4.2. Determinación de Azucares Reductores

La determinación de azucares reductores totales (glucosa) fue llevada a cabo mediante el método de ácido 3,5 – dinitrosalicilico por espectrofotometría UV visible con glucosa como estándar (Miller 1980, A.O.A.C.920, 44).

La cinética de degradación térmica de azucares reductores (glucosa y fructosa) en puré de banano maduro fue estudiada en un rango de temperatura de 60°C a 80°C.

2.4.3. Determinación del pH

La determinación del pH se la realizó filtrando 100 ml del hidrolizado e introduciendo el electrodo del equipo Multiparametro pH/ISE/CONDUCTIVIDAD/DO) TIPO ORION STAR A329 digital (A.O.A.C. 32.016).

2.4.4. Actividad de Agua

La actividad de agua en un alimento se encuentra dentro de los rangos de 0,01 a 1,00 de (aw), exactitud de 0,015 Aw o menor, dispone de lo siguiente:

- Un indicador de Aw rápido con adaptador para corriente alterna (AC).
- Una sonda ventiladora para humedad – temperatura AWVC.
- Un portamuestras WP14 de poca profundidad y un WP40 de gran profundidad o altura.
- 4 fundas de estándares de humedad certificados (5, 10,35 y, 80% HR/5 vials por caja).

Para la medición de la A_w el sensor es calibrado inicialmente mediante la colocación de 4 hojas de papel filtro adjunto en el contenedor de la muestra y humedecer con la solución saturada de cloruro de bario. Agitar enérgicamente la solución de cloruro de bario, inmediatamente antes de usar. El sensor principal y el contenido de la muestra se encuentran asegurados entre sí por un seguro especial.

La calibración deberá ser efectuada a 20ºC asegurándose que no todas las partes se encuentran a esta temperatura y que se mantengan constantes durante la calibración.

Durante la calibración y medición, los instrumentos deberán ser observados en la caja a través de la cubierta transparente con el objeto de eliminar las influencias de la temperatura externa.

La actividad del agua (Aw) es medida mediante un higrómetro en el cual se determina el % H.R. (Humedad Relativa) de la muestra y del agua pura (100% H.R.) a la misma temperatura (Chirife & Ferro, 1982) .

Procedimiento

La muestra cuya temperatura deberá estar entre 15 y 25ºC es colocado en el interior del segundo contenedor sobre la parte inferior del anillo de empaque. Después de calibrado, el sensor principal es mantenido a temperatura aproximadamente 2 minutos hasta A_w menores de 0.80.

1. Luego el sensor principal es fuertemente asegurado al contenedor de muestra lleno a través de un especial cierre y se procede a medir la $a_{w.}$ de las muestras.

2. Limpiar cuidadosamente el contenedor de la muestra después que la medición ha sido efectuada, igual limpieza es necesaria si el contenedor de la muestra usada para la calibración es también usada para la determinación de la a_w muestra. De otro modo valores falsos pueden obtenerse. Es preferible usar siempre el mismo contenedor para la determinación de la a_w de las muestras.

2.5. UNIVERSO DE TRABAJO

La muestras de puré de banano no acidificado sin semillas de la Empresa Procesador de Alimentos CONFOCO, S.A. fue recolectada en un día de producción normal de la fábrica, para el cual se tomó muestra en dos etapas del proceso como son: después del desemillado y producto terminado las cuales fueron sometidas a diferentes tiempos y temperaturas de exposición con el fin de establecer el comportamiento de degradación de azúcares presentes, desde el punto de vista de calidad y nutricional.

2.6. MATERIALES A UTILIZARSE

Equipos y materiales utilizados en la medición de la azucares en puré de banano son:

- 1 Espectrofotómetro UV – Visible (rayos UV y Visibles)
- 1 celda de cuarzo del espectrofotómetro de 10 mm de espesos, marca QS
- 5 gradillas para tubos de ensayo metálicas
- 15 tubos de ensayo: 1,2 cm de diámetro interno por 14,8 cm de longitud
- 3 vasos de precipitación de 100 ml, 250 ml, 1000 ml
- 1 embudo de caña corta de 8 cm de longitud y 9,6 cm de diámetro interno
- Papel filtro de 78 gr

- 7 frascos ámbar boca ancha de 250 ml
- 8 frascos ámbar boca ancha de 1000 ml
- 3 pipetas de 5 ml
- 3 pipetas de 10 ml
- 1 bureta de 25 ml

3.4.3.5 Reactivos

- Muestras de puré de banano maduro sin semillas
- Reactivo DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico)
- Solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) (aproximadamente 2 moles/l)
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH) (10% en peso)
- Glucosa en polvo ($C_6H_{12}O_6$)
- Dicromato de potasio grado analítico ($K_2\ Cr_2O_7$)
- Solución estándar de glucosa
- Agua des ionizada

3.4.3.6 Varios

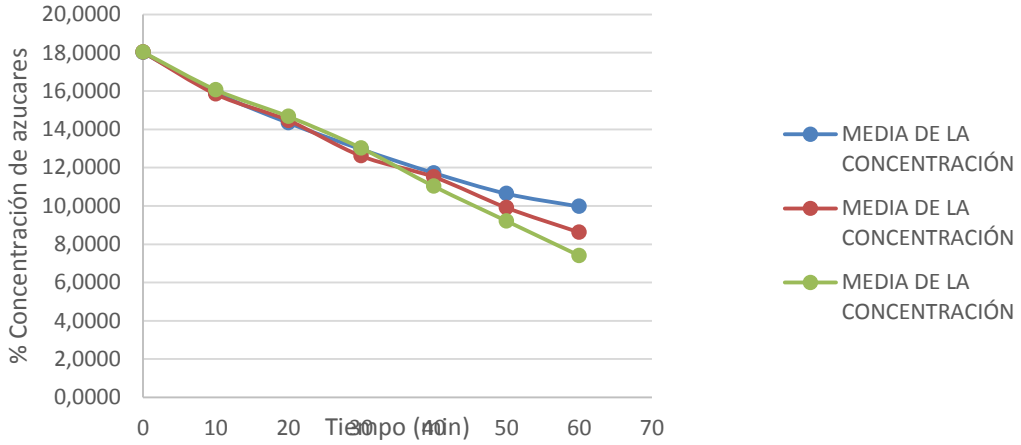
- Hojas de papel bond
- Computador Pentium III
- Impresora LX – 300
- Hojas de papel bond
- Bolígrafos

3. RESULTADOS

3.1. REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LOS AZUCARES REDUCTORES POR EFECTOS DE LA PASTEURIZACIÓN

La reducción en las concentraciones de azúcares reductores (glucosa y fructosa) se ve influenciada por la temperatura, ya que deteriora las características organolépticas y nutritivas de puré, dejan de ser aptos para el consumo humano.

Figura 13: Variación de la concentración del % de azucares reductores por efectos de la temperatura.



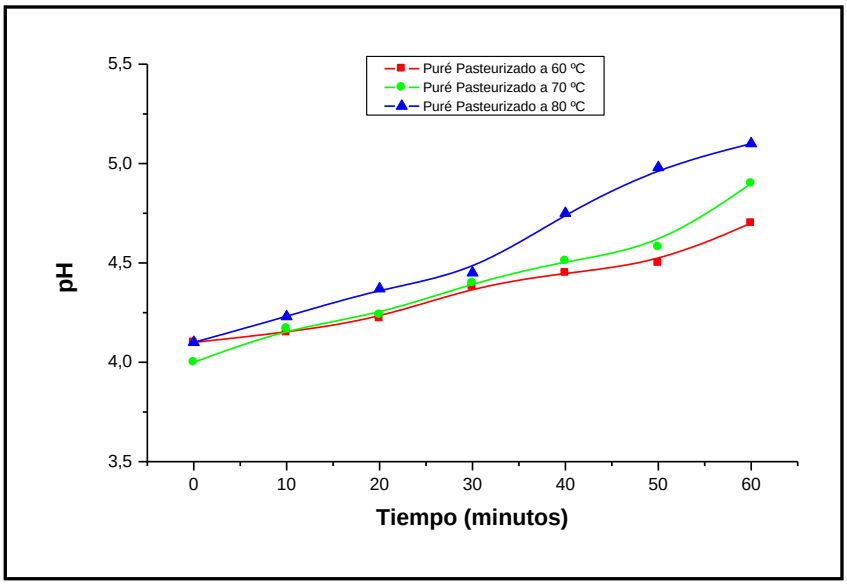
Fuente: Loayza, 2014.

Como se observa en la figura 13, existe una disminución de la concentración de los azucares reductores del puré de banano sin semillas no acidificado, al aumentar la temperatura y el tiempo de pasteurización.

DETERMINACIÓN DE pH

En la siguiente figura 14. Se puede observar que existe una relación directamente proporcional ya que conforme va aumentando la temperatura el pH del producto se eleva.

Figura 14: Variación del pH por efectos de la temperatura (60, 70 y 80 ºC)



Fuente: Loayza Daniela, 2014.

3.2. CINÉTICA DE LA DEGRADACIÓN DE LOS AZUCARES REDUCTORES EN EL PURÉ DE BANANO

El contenido de azucares reductores en las muestras antes y después del tratamiento de calor se determina por el método 3'-5'-dinitrosalicílico (3'-5'-DNS).

Tabla 5: Variación de la concentración de azucares reductores en el tiempo que se pasteurizó el puré de banano.

Pasteurización a 60 ºC			**Pasteurización a 70 ºC**		**Pasteurización a 80 ºC**	
Tiempo (Minutos)	**[ ] (%)**	**Índice de Retención (Cf/Co)**	**[ ] (%)**	**Índice de Retención (Cf/Co)**	**[ ] (%)**	**Índice de Retención (Cf/Co)**
0	**18,03**	1	**18,03**	1	**18,03**	1
10	14,539	0,8	13,589	0,753	15,967	0,88
20	14,4799	0,8	13,272	0,736	15,56	0,86
30	13,249	0,73	13,119	0,727	14,17	0,78
40	12,098	0,67	11,741	0,65	11,638	0,64
50	12,076	0,669	8,966	0,49	9,502	0,52
60	10,046	0,557	8,267	0,45	6,237	0,34

Fuente: Loayza, 2014.

A continuación en la figura 14 se presenta la cinética de degradación térmica de los azucares reductores en el puré de banano sin semillas no acidificado.

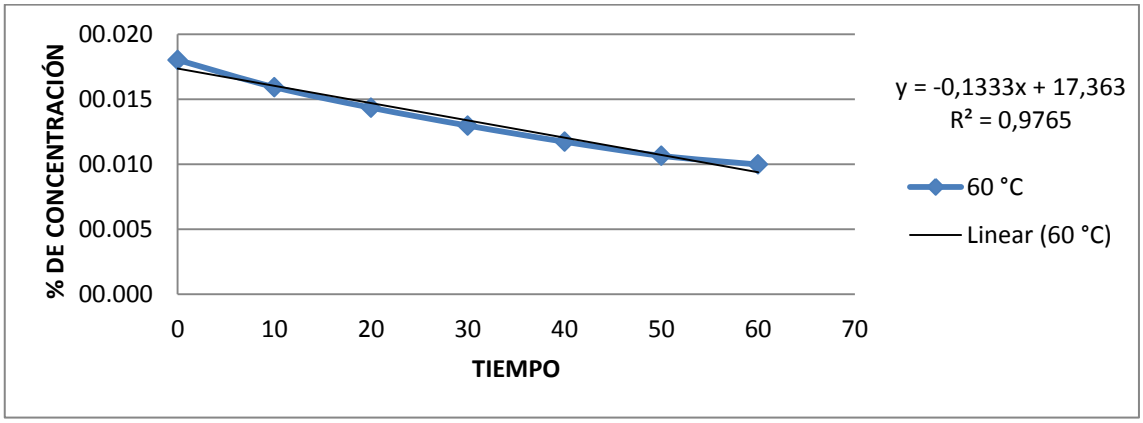
La representación gráfica se realiza para demostrar la degradación de los azucares reductores del puré de banano sometido a un proceso de pasteurización de 60, 70 y 80 °C por el lapso de una hora, esto determina la velocidad de degradación del componente nutritivo y de calidad nutricional en el producto.

La cinética de degradación térmica de los azucares reductores en puré de banano maduro, se calculó a partir de las ecuaciones 1-2. (Toledo, 1991).

$$\mathbf{ln}\left(\frac{\mathbf{C}}{\mathbf{Co}}\right) = -\mathrm{kt} \qquad \text{Ecuacion 1}$$

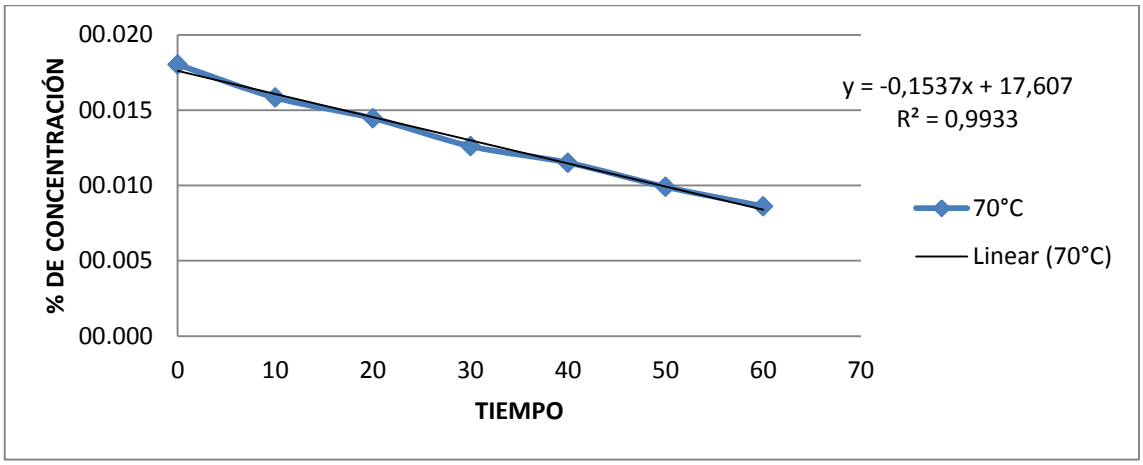
$$\mathbf{K} = A_0 e^{-Ea/RT} \qquad \text{Ecuacion 2}$$

Figura 14: Cinética de degradación de los azucares reductores en el puré pasteurizado a 60 ° C por una hora.



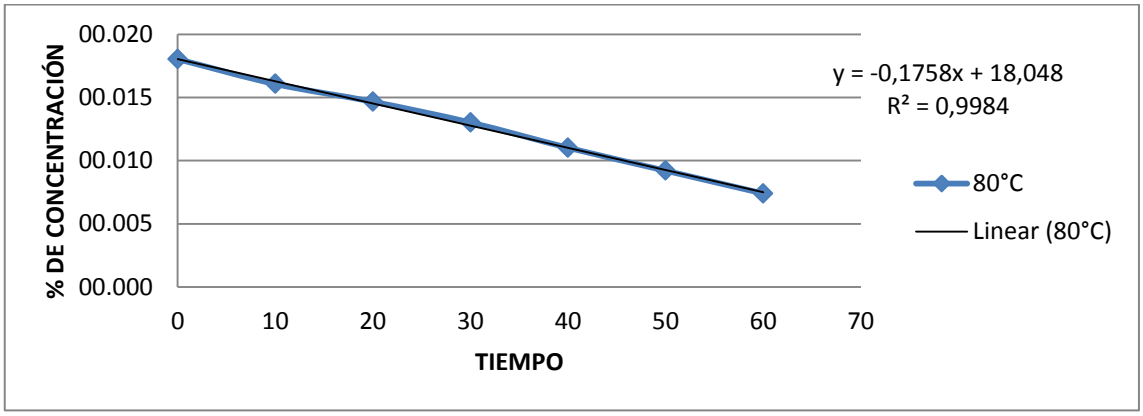
Fuente: Loayza Daniella, 2014.

Figura 15: Degradación de los azucares reductores en el puré pasteurizado a 70 ° C por una hora.



Fuente: Loayza Daniella, 2014.

Figura 16: Degradación de los azucares reductores en el puré pasteurizado a 80 ° C por una hora.



Fuente: Loayza Daniella, 2014.

Los valores de los coeficientes de determinación R^2 en los tres casos (pasteurización a 60, 70 y 80 ºC) indica no solo el buen ajuste de los datos sino también que el 87, 92%; 90,70% y 86, 02 % de las variaciones en el sistema pueden ser explicadas por el transcurso del tiempo, mientras que el resto se deben a la variabilidad natural entre muestras y al error experimental.

3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de la varianza (**ANOVA**) es el método que se utilizó para comparar las tres medias del experimento, contrastar la hipótesis nula de que las medias del experimento (K >2) son iguales, frente a la hipótesis alternativa de que por lo menos uno de los tratamientos difiere de las demás en cuanto a su valor esperado.

Tabla 6: Análisis de varianza del experimento

ANÁLISIS DE VARIANZA				
Fuente	**Media**	**Varianza**	**N**	**Desviación estándar**
Tratamiento A = 60 ºC por 1hora	10,21	0,06	3,00	± 0,25
Tratamiento B = 70 ºC por 1 hora	8,27	0,03	3,00	± 0,17
Tratamiento C = 80 ºC por 1 hora	6,37	0,03	3,00	± 0,16
F = 90,916				
p = 0,00				

Fuente: Loayza, 2014.

Como se aprecia en la tabla 6 si existe diferencia significativa (p <0,05) entre los 3 tratamientos estudiados, el factor azucares reductores tiene una efecto estadísticamente significativo en un nivel de confianza de 95,0A continuación en la tabla 7, se muestra el análisis de comparación múltiple de Tukey.

Tabla 7: Análisis de comparación múltiple de **TUKEY**

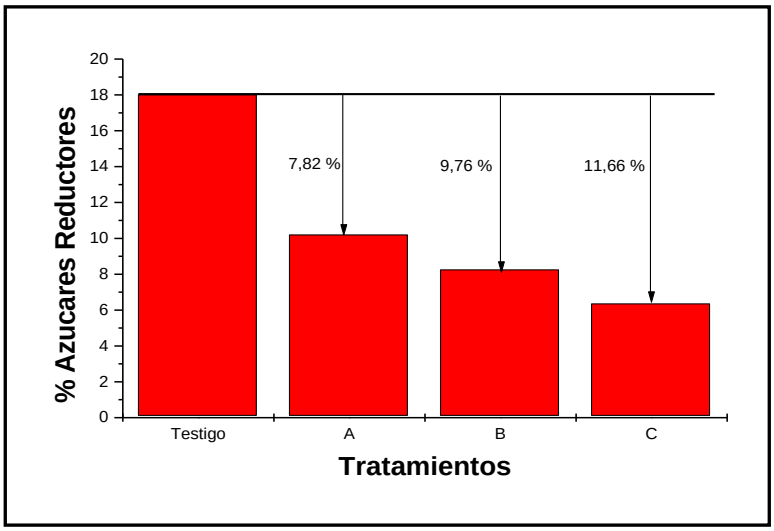
MÉTODO DE TUKEY PARA UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95 %			
Tratamientos	**N**	**Media**	**Grupo homogéneo**
1	3	10,21	X
2	3	8,27	X
3	3	6,37	X
Contraste	**Diferencia**		**+/- Limites**
1 - 2	* 1,93		0,49
1 - 3	* 3,83		0,49
			0,49
2 - 3	* 1,9		

***** Existe diferencia significativa

Fuente: Loayza, 2014.

El método de Tukey nos permitió discriminar medias del experimento. Con este método, existe un riesgo de 5,0% de llamar a uno o más pares significativamente diferentes cuando su real diferencia es igual a 0.

Figura 17: Graficación de las medias de los 9 tratamientos estudiados



Fuente: Loayza, 2014.

Como podemos observar en la figura 17, el tratamiento A es aquel donde existe menor % de degradación de los azucares reductores (7,82 %) con respecto al patrón de puré de banano sin semillas no acidificado (18,03), el tratamiento B = 9,76 y el tratamiento C = 11,66 %,

3.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Este contraste es fundamental en el análisis de resultados experimentales, en los que se comparó comparar los resultados de los tres tratamientos con respecto a la variable dependiente (% de azucares reductores).

El análisis de las 9 observaciones con una desviación estándar de 1,0, la computarizada estadístico chi-cuadrado es igual a 32,0. Dado que el valor de p para la prueba sea inferior a 0,05, la hipótesis nula es rechazada en el 95,0% nivel de confianza. El intervalo de confianza muestra que los valores de sigma con el apoyo de los datos se ubican entre 0,675457 y 1,91577. En consecuencia se acepta la hipótesis alternativa.

Este análisis muestra los resultados de realizar una prueba de hipótesis relativa a la desviación estándar (Sigma) de una distribución normal.

Las dos hipótesis probadas son:

Hipótesis nula: mu = 0,5

Hipótesis alternativa: mu < > 0,5

3.5. Modelación de la cinética de degradación de azucares reductores en función del orden de reacción.

Se realizó un estudio cinético a temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C, donde se computó la degradación de azucares reductores con el tiempo de exposición a dichas temperaturas.

Los resultados obtenidos son valores medios de dos replicas los cuales se muestran en la siguiente tabla.

TABLA 7. Degradación de azures reductores a 60 °C

TIEMPO (min)	MEDIA DE LA CONCENTRACIÓN (%)	INDICE DE RETENCIÓN
0	18,0150	1
10	15,9195	0,8837
20	14,3350	0,7957
30	12,9595	0,7194
40	11,7190	0,6505
50	10,6380	0,5905
60	9,9680	0,5533

Fuente: Loayza, 2014.

TABLA 8. Degradación de azures reductores a 70 °C

TIEMPO (min)	MEDIA DE LA CONCENTRACIÓN (%)	INDICE DE RETENCIÓN
0	18,0300	1
10	15,8345	0,8782
20	14,4605	0,8020
30	12,6085	0,6993
40	11,5085	0,6383
50	9,9060	0,5494
60	8,6185	0,4780

Fuente: Loayza, 2014.

TABLA 9. Degradación de azures reductores a 80 °C

TIEMPO (min)	MEDIA DE LA CONCENTRACIÓN (%)	INDICE DE RETENCIÓN
0	18,0300	1
10	16,0635	0,8909
20	14,6650	0,8134
30	13,0210	0,7222
40	11,0224	0,6113
50	9,2110	0,5109
60	7,4035	0,4106

Fuente: Loayza, 2014.

Los valores obtenidos fueron normalizados dividiendo el valor remante entre el valor inicial y estos resultados se graficaran para los órdenes de reacción cero y uno por ser los más frecuentemente reportados en la literatura.

Los resultados gráficos obtenidos se muestran en las figuras 18.

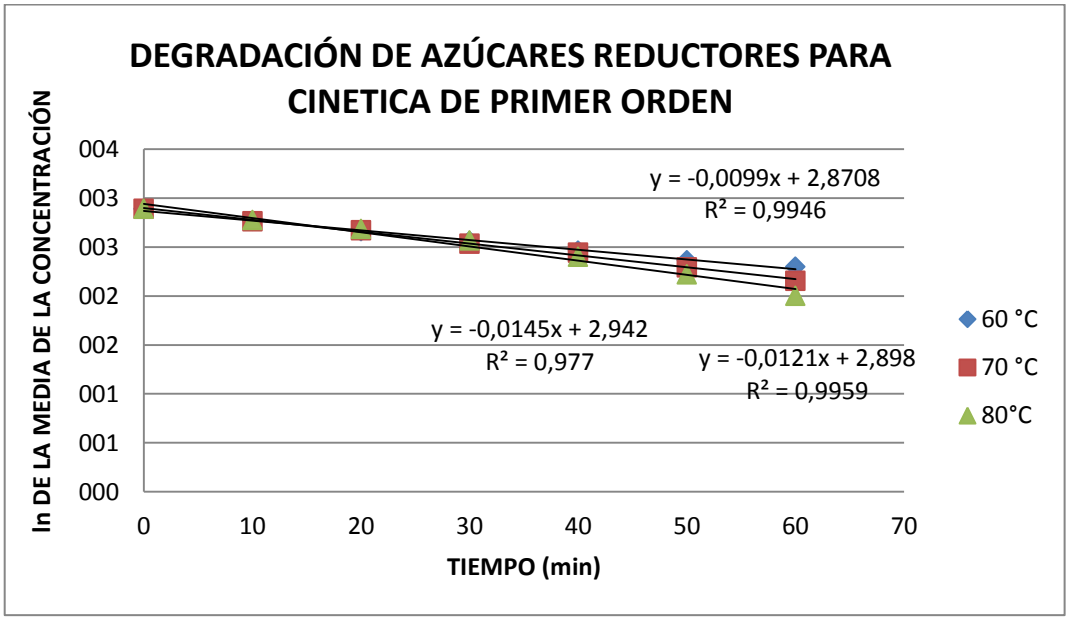


Fig. 18. Gráfica de Degradación del azucares reductores para La Cinética de Primer Orden

TABLA 10. Modelos y órdenes de reacción.

t/°C	ECUACIÓN DE LA RECTA DE LINEALIZACIÓN	ORDEN DE REACIÓN	AJUSTE R^2	CONSTANTE CINETICA DE VELOCIDAD κ	OBSERVACIONES
60	$\ln\frac{C}{Co} = -0{,}1333 \times \text{tiempo} + 17{,}363$	CERO	0,9765	0,1333	El mejor ajuste determina el verdadero orden de reacción
60	$\ln\frac{C}{Co} = -0{,}0099 \times \text{tiemp} + 2{,}8708$	UNO	0,9946	0,0099	
70	$\ln\frac{C}{Co} = -0{,}1537 \times \text{tiemp} + 17{,}607$	CERO	0,9933	0,1537	
70	$\ln\frac{c}{co} = -0{,}0121 \times \text{tiempo} + 2{,}898$	UNO	0,9959	0,0121	
80	$\ln\frac{C}{Co} = -0{,}1758 \times \text{tiempo} + 18{,}048$	CERO	0,9984	0,1758	
80	$\ln\frac{C}{Co} = -0{,}0145\ \text{X tiempo} + 2{,}942$	UNO	0,9770	0,0145	

Fuente: Loayza, 2014.

De acuerdo a los modelos matemáticos, los tipos de deterioro o degradación siguen una cinética de primer orden, para comprobar la deducción matemática y la graficación se aplica el logaritmo natural de las concentraciones del puré, donde los tiempos siguen siendo los mismos.

Con los valores obtenidos de la constante aparente de velocidad de degradación del azucares reductores se realizó una gráfica para obtener el valor de la energía de activación térmica, debido a la influencia de la temperatura en la reacciones de degradación estudiadas, por tal razón se relaciona la energía de activación mediante una constante de velocidad de reacción de acuerdo a la ecuación de Arrhenius.

$$K = A\,e^{-\frac{Ea}{RT}}$$

La resolución de esta expresión nos permita graficar los logaritmos naturales de las constantes cinéticas de primer orden en función del inverso de las temperaturas de la reacción (figura 3.15), determinándose el valor de la energía de activación mediante la pendiente de esta recta.

TABLA. 11 Datos cinéticos

T/K	CONSTANTES DE DEGRADACIÓN κ(min $^{-1}$)	LN κ	1/T
333,15	0,0099	-4,615220522	0,0030017
343,15	0,0121	-4,414549826	0,0029142
353,15	0,0145	-4,23360663	0,0028317

Fuente: Loayza, 2014.

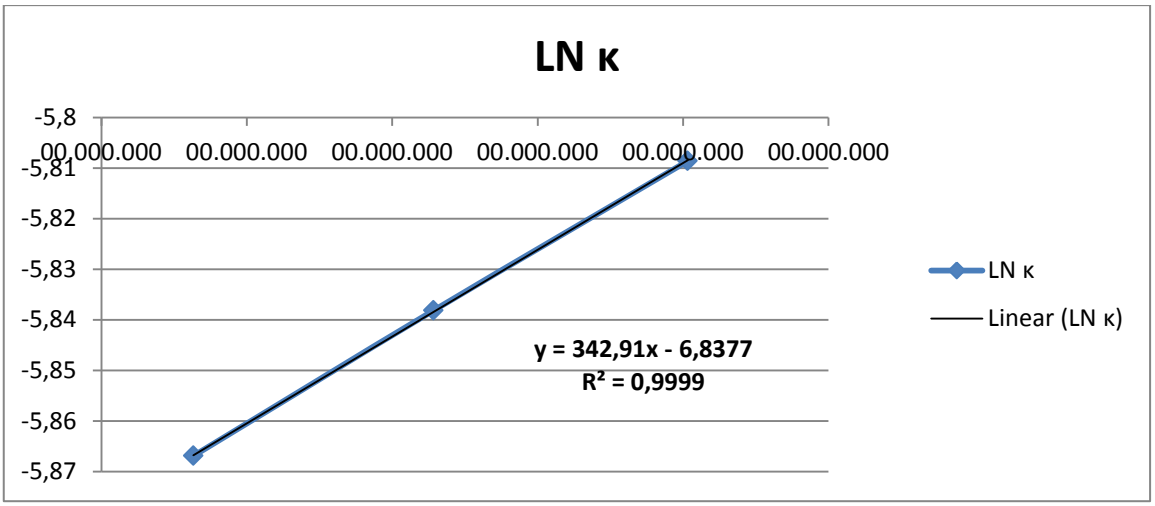


FIG 19. Dependencia lineal de ln k respecto a 1/T

Según la ecuación de Arrhenius, el valor del ln k varía frente a 1/T según una línea recta. La pendiente de ésta es –Ea/R, tras despejar, obtenemos el resultado de la energía de activación para la reacción de degradación, igual a 41,19Kj/(mol K).

Un valor superior a 12 indica el desarrollo de procesos de origen químico, lo que se corresponde con lo que aquí ocurre que es la degradación de la azucares reductores.También se hallaron los valores del tiempo de reducción decimal (D) a cada una de las temperaturas estudiadas, los que se muestran en la tabla 12.

TABLA12. Tiempo de reducción decimal.

TEMPERATURA	κ (min $^{-1}$)	D
60	0,0099	232,63
70	0,0121	190,33
80	0,0145	158,83

Fuente: Loayza, 2014.

Con estos valores a su vez se calculó el valor Z para esta reacción, el cual es de 114,74 °C, lo que coincide con el rango (44°C–72°C) reportado en la literatura

Se pude convalidar la relación existente entre el valor de Z y el valor de Q_{10} por medio de la siguiente expresión:

$$Q_{10} = \frac{D1}{D2}$$

$$Z = \frac{10}{\text{Log } Q10}$$

Por medio de estas expresiones se puede calcular el valor de Z ; en donde el resultado calculado es de 114,75° C esto demuestra que a medida que aumenta la temperatura aumenta la velocidad de degradación ya que estos son dos indicadores que miden el efecto de la temperatura sobre la cinética de reacción en los alimentos ya sea, debido a la actividad de degradación o a la destrucción térmica de microorganismos. **CALCULO DE z**

$$\log \frac{D_{T_1}}{D_{T_2}} = \frac{T_2 - T_1}{Z}$$

$$\log \frac{232,63}{190,33} =$$

$$\frac{70 - 60}{Z}$$

$$Z = \frac{70 - 60}{\log \frac{232,63}{190,33}}$$

$$Z = 114,74$$

4. CONCLUSIONES

- Se ha determinado que existe una disminución de la concentración de los azucares reductores del puré de banano sin semillas no acidificado, al aumentar la temperatura y el tiempo de pasteurización, se obtuvo una disminución de los azucares reductores aumenta, el tratamiento C en el cual se sometió el puré a 80 ºC por una hora, varía desde un valor inicial de 18,03 % hasta 6,23%, evidenciándose una disminución de 11,79 %. En el tratamiento B en el cual se sometió el puré a 70 ºC por una hora, varía desde un valor inicial de 18,03 % hasta 8,26%, evidenciándose una disminución de 9, 77 % y tratamiento A en el cual se sometió el puré a 60 ºC por una hora, varía desde un valor inicial de 18,03 % hasta 10,04%, evidenciándose el mínimo % (7,99) de disminución entre los 3 tratamientos.

- El pH al aumentar la temperatura y el tiempo de pasteurización del puré de banano, tal es el caso del tratamiento C en el cual se pasteuriza el puré de banano a 80 ºC por una hora, existe un incremento de 4,1 a 4,8 en el tratamiento B en el cual se pasteuriza el puré de banano a 70 ºC por una hora, existe un incremento de 4,1 a 4,7 y en el tratamiento A en el cual se pasteuriza el puré de banano a 60 ºC por una hora, existe un incremento de 4,1 a 4,3 es decir existe una mínima variación del pH, lo cual indica la degradación del ácido málico presente en el puré.

- De acuerdo a la modelación cinética la regresión lineal mostró que el mejor ajuste a las tres temperaturas estudiadas se corresponde con una cinética de degradación de orden uno, y que la constante aparente de velocidad de degradación de azucares reductores aumenta en la medida que aumenta la temperatura.

- El signo negativo de la constante de degradación se debe al tiempo que transcurre durante el proceso de pasteurización y va disminuyendo la concentración de azucares reductores en el puré. Los valores de los coeficientes de determinación R^2 en los tres casos (pasteurización a 60, 70 y 80 ºC) indica no solo el buen ajuste de los datos sino también que el 87,

92%; 90,70% y 86, 02 % de las variaciones en el sistema pueden ser explicadas por el transcurso del tiempo, mientras que el resto se deben a la variabilidad natural entre muestras y al error experimental.

- De acuerdo al orden de reacción definida se pudo determinar la constante D lo que quiere decir que en 190,33 min es el tiempo necesario para reducir la concentración de azucares reductores a la décima parte a una temperatura dada. Y la constante Z = 114,74 que sería la temperatura en la cual se empieza a producir la reacción de degradación.

5. RECOMENDACIONES

- La pasteurización del puré de banano se lo debe de realizar mediante tratamientos térmicos en los cuales la temperatura sea alta pero el tiempo debe ser corto para no afectar la calidad nutricional del alimento.

- Se recomienda para investigaciones futuras sobre la calidad del puré, realizar análisis microbiológicos para garantizar que en el tratamiento en el que se obtiene un menos porcentaje de degradación de los azucares reductores, no supera los límites máximos permisible, dentro de los requisitos microbiológicos para este alimento.

- La pasteurización del puré se la debe realizar en ausencia de oxígeno, en donde exista distribución uniforme del calor suministrado a este proceso.

- Si se realiza un proceso de pasteurización del puré de banano a temperaturas superiores a 70 ºC, se recomienda restituir el ácido málico que se ha perdido en dicho proceso.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Universidad de Alcalá. (15 de Enero de 2012). Velocidades y mecanismos de las reacciones químicas. Recuperado el 30 de Abril de 2014, de Facultad de Farmacia.: file:///C:/Users/Administrador/Downloads/Velocidad+de+reaccion.desbloqueado.pdf

2. AINIA. (1998). LA INDUSTRIA DE ELABORADOS VEGETALES. INSTITUTO ECOLOGICO AGROALIMENTARIO.

3. AOAC. (1990). Acidity (titratable) of Fruit Products 22.058 Indicator Method. Methods of Analysis, de Association_of_Official_Analytical_Chemist, 420.

4. Badui, S. (2006). Química de los Alimentos. Química de los Alimentos.

5. Berkowitz, D. E. (1993). INDUSTRIA ALIMENTARIA. ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO.

6. Billaud, C. (2003). Maillard. Food Rev. Intern, Págs. 345 374.

7. Bio Vitalia. (2011). Bio Vitalia. Recuperado el 2014, de http://www.biovitalia.com/PortalSalud/Blog/contenido/284/Reaccion_de_Maillard

8. Braverman, J. (1980). Introducción a la bioquímica de los alimentos. . Ediciones Omega S.A. Barcelona, España.

9. Braverman, J. B. (1980). Introducción a la Bioquimica de los alimentos. Barcelona, España: Ediciones Omega S.A.

10. Cambero, I., Fernandez, L., & Luisa, G. (2010). TECNOLOGIA DE LOS ALIMENTOS. ESPAÑA: SINTESIS S.A.

11. Cardeñosa, B. (1995). El género Musa en Colombia plátanos, bananos y afines. PALMIRA COLOMBIA: MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA.

12. Casp, A. (1998). Procesos de conservación de alimentos. E. Ediciones Mundi-Prensa. , Pág. 9.

13. Cengel, Y. (2003). Pasteurizadores de Tubos Concentricos. Transferencia de calor. Segunda edición.

14. Cenzano, J. (2003). ANALISIS DE VINOS, MOSTOS Y ALCOHOLES. AMV EDICIONES.

15. Charm, S. (2007). Food engineering applied to accommodate food regulations, quality and testing. . Alimentos Ciencia e Ingeniería.

16. Chirife, J., & Ferro, F. C. (1982). Water activivity of fresh foods. Journal Food Science- 47., Pàgs. 661-663.

17. CONFOCO. (2014). Pasteurizacion del pure de banano maduro.

18. Dergal, S. B. (2006). QUIMICA DE LOS ALIMENTOS (Vol. CUARTO). (E. Q. DUARTE, Ed.) MEXICO: PEARSON EDUCACION.

19. FBIOYF. (29 de Junio de 2014). Cinética enzimática. Obtenido de http://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/5981/mod_resource/content/0/Cinetica_enzimatica.pdf

20. Garza-Velasco, R. S.-M.-G. (2007). La listeriosis humana y el ciclo infectivo asociado a su agente etiológico.

21. Gonzalez, C., Ibarz, A., & Vicente, M. (1998). Cinética de pardeamiento no enzimático. Alimentaria, 63-68.

22. Halley, R. (1992). ENCICLOPEDIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA. VENEZUELA : Grupo Noriega editores.

23. Harrod, M. (1986). Scraped Surface Heat Exchangers. A literature survey of flow patterns, mixing effects, residence time distribution, heat transfer and power requirements. Journal of Food Process Engineering. , Págs. 1-62 .

24. Hart, F., & Fisher, H. (1971). Análisis moderno de los alimentos. Acribia-España.

25. Heat Exchangers. (2014). envasado aséptico.

26. http://www.visitaecuador.com/costa.php?opcion=datos&provincia=7. (s.f.).

27. Hui, Y. H. (1992). Enclyclopedia of food science and technology. . John Wiley and Sons Inc. E. U. .

28. ICBF. (2005). Tabla de Composición de Alimentos. Alimento: Banano común (musa sapientum).

29. INBORJA. (2014). Industrias Borja. Pure de Banano.

30. INEN 1633:1989:02, I. N. (s.f.). DETERMINACIÓN DE AZUCARES. QUITO: INEN.

31. INEN. (1986). Norma Técnica Ecuatoriana 380- Determinación de sólidos solubles. Conservas vegetales - Método refractométrico.

32. INEN. (1990). Control microbiológico de los alimentos - Determinación de microorganismos coliformes por la técnica del número más probable. Norma Técnica Ecuatoriana 1529-6.

33. INEN. (2008). JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NECTARES, BEBIDAS DE. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 337:2008, Pág. 4.

34. INEN. (2008). JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NECTARES, BEBIDAS DE . NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 337:2008 , Pág. 7.

35. ISABEL, C. M., FERNANDEZ, L., & LUISA, G. M. (s.f.). TECNOLOGIA DE LOS ALIMENTOS . ESPAÑA : SINTESIS S.A .

36. Kalimi, M. Y., & Sohonie, K. (1965). Mahabaleshwar honey. III. Vi tamin contents (ascorbic acid, thiamine, riboflavin, and nia cin) and effect of storage on these vitamins. Journal de . Nutrición. Dietet. 2(1):, Págs. 9-11. .

37. Kato, H., & Hayase, F. (2002). An approach to estimate the chemical structure of melanoidins, in S. Págs. 3-7.

38. Labuza, L. y. (1975). Destruction of ascorbic acid as a funtion of water activity. Journal of food Sciencie.

39. Labuza, T. (1985). An integrated approach to food chemistry: Illustrative Cases. Food Chemistry.

40. Lakhdar, M. B. (2005). Heat transfer freezing in a scraped surface heat exchanger. . Applied thermal engineering, Págs. 45-60.

41. Lozano, J. E. (1985). Informe anual del CONICET,. Plapiqui, Bahía Blanca,.

42. Lyndon, C. (1966). Análisis próximo de algunas materias primas colombianas empleadas en nutrición animal. Revista ICA, 1, Págs. 47-57.

43. Mathews, K., Van Holde, E., & Aher, G. (2004). Bioquimica. España: 3th edición.

44. Molina, G. J. (2010). Efecto de la temperatura en la energia de activación. Departamento de Biología y Geología .

45. Namiki, T. H. (1975). Development of novel free radicals during amino-carbonyl reaction of sugar with amino acids. Journal. Agric. Food Chem., Pág. 487-491.

46. Naturland. (2001). Agricultura Organica en el Trópico y Subtrópico. Alemania: Asociacion Naturland.

47. Navas, C. D. (2009). Diseño de la Línea de Producción de Compotas de Banano. GUAYAQUIL: ESPOL.

48. Ovalle, T., & Rueda, S. (1999). Manejo postcosecha del banano criollo (musa spp grupo AAA). PEREIRA COLOMBIA: Magnitud Ltda.

49. Palop, A. (2007). Cuaderno de prácticas ingeniería de la esterilización, asepsia e Higiene. Alfredo Palop. Universidad politécnica de Cartagena-etsia Cartagena. .

50. Panella, G. y. (2007). España Patente nº ES 2 265 408 T3.

51. Posada, C. (2011). RECOPILACIÓN DE ESTUDIOS DE TIEMPOS DE VIDA ÚTIL DE PRODUCTOS. CORPORACIÓN UNIVERSITARIA LASALLISTA, Pág. 43.

52. Riofrio, J. (2004). Industrialización del banano. REVISTA TECNOAGRO.

53. Rojas, B. R., Narváez, C. E., & R. S. (2006). EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE VITAMINA C, FENOLES TOTALES Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE EN PULPA DE GUAYABA (Psidium guajava L.) DE LAS VARIEDADES PERA, REGIONAL ROJA Y REGIONAL BLANCA. Universidad Javeriana.

54. Romero, J. (2002). Efecto antagónico de C. rugosa sobre microorganismos contaminantes. BOGOTA: Pontificia Universidad Javeriana.

55. Rufián-Henaresa, J. A. (2007). Propiedades funcionales de melanoidinas: antioxidante in vitro, las actividades antimicrobianas y antihipertensivos. ScienceDiret.

56. Saguy, I., Kopelman, I., & Mizrahi, S. (1979). Simulation of ascorbic acid stability during heat processing and concentration of grapefruit juice. Journal Food Process Engineering , Págs. 213-225.

57. Serra, H. M., & Cafaro, T. A. (2007). Ácido ascórbico: desde la química hasta su crucial función protectiva en ojo. LILACS-Express, Pág. 1.

58. Shafiur Rahman, M. (2003). Manual de conservación de los alimentos.

59. Sierra, L. (1993). Post cosecha y agroindustria del plátano en el eje cafetero de Colombia. COLOMBIA.

60. Silva, F., & Gibbs, P. (2004). Target Selection in Designing Pasteurization-Processes for Shelf-Stable High-Acid Fruit Products. Critical Reviews in FoodScience and Nutrition 44, Págs. 353–360.

61. Strecker, A. (1862). A note concerning a peculiar oxidation by alloxan, Annalen. Págs. 123, 363-365. .

62. Termo Web. (18 de Diciembre de 2008). INTERCAMBIADORES DE CALOR. Recuperado el 1 de Mayo de 2014, de

http://personales.ya.com/universal/TermoWeb/IngenieriaTermica/teoría/PDFs/17.pdf

63. Toledo, R. (1991). Fundamentals of food process engineering. 2nd ed. New York: Van Nostrand Reinhold, Pág. 664.

64. Tosun, N. S. (2003). Nonenzymatic browning during storage of white hard grape pekmez (Zile pekmesi). Food Chem, Pág. 441- 443.

65. Universidad de Antoquia. (2001). Quimica de los Alimentos. Recuperado el 2 de Mayo de 2014, de Reacción de Maillard: wwwmgr@cci.udea.edu.co

66. Van, B., & De Fielliettaz, G. (1983). Heat transfer to water and some highly viscous food systems in a water-cooled scraped surface heat exchanger. . Journal of Food Process Engineering, Págs. 17-35.

67. Wade, L. G. (2010). Reacciones de oxidacion de la glucosa. Química Orgánica.

68. Weenen, W. (1996). Apeldoorn, Carbohydrate cleavage in the Maillard reaction. Flavour Sciece: Recent Developments- Royal Society of Chemistry, Cambridge, Págs. 211-216.

ANEXOS

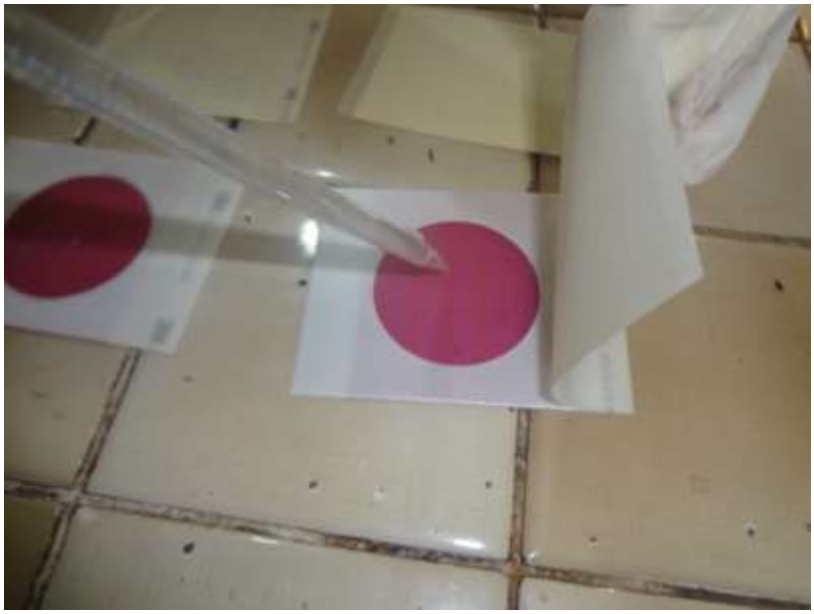
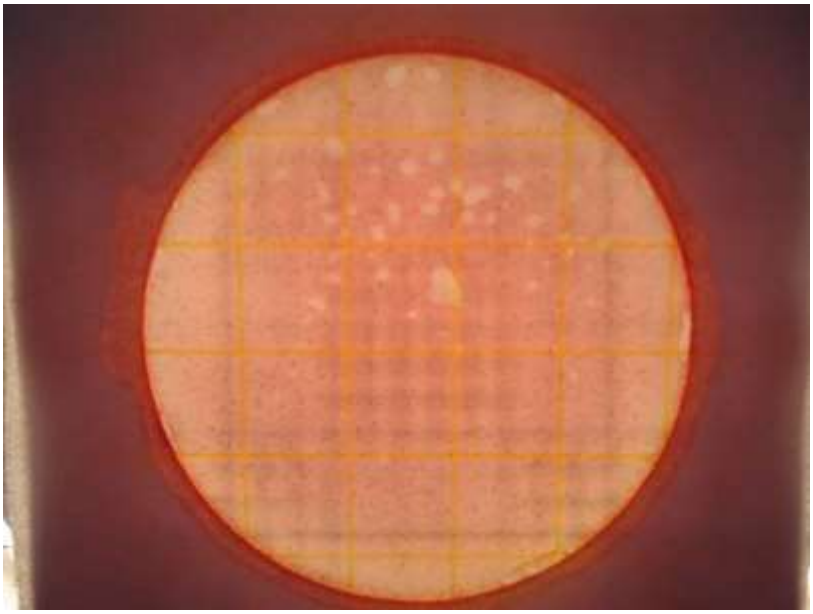
Anexo 1: Pasteurización del puré de banano a 60, 70 y 80 ºC

Anexo 2: Medición del pH del puré de banano maduro

Anexo 3: Medición de la concentración de azucares reductores en el puré de banano pasteurizado.

Anexo 4: Preparación de las muestra para la determinación de azucares reductores en el puré de banano.

Anexo 5: análisis microbiológico de coliformes totales en el puré de banano.



Anexo 6: Resultados del análisis microbiológico utilizando el método Petri fill.