

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
DE LOS ALIMENTOS**



**“ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN REOLÓGICA DE
MERMELADA DE PIÑA (*Ananás comosus*)”**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

JAVIER DAZA, NELLY RUTH

PROMOCIÓN 2011 - II

**Tingo María - PERÚ
2014**



**T
IND**

JAVIER DAZA, NELLY RUTH

**“Elaboración y Evaluación Reológica de Mermelada de Piña
(*Ananás comosus*)”**

70 páginas.; 14 cuadros; 12 figuras.; 31W ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Industrias Alimentarias

1- MERMELADA 2- HERSCHEL-BULKEY 3- ORDEN CERO Y UNO

4- VELOCIDAD DE REACCIÓN 5- ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

6- MODELO DE ARRHENIUS



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156
Apart. Postal 156 Tingo María E.mail; fia@unas.edu.pe

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 004-2014

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 13 de junio de 2014, a horas 6:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentado por la Bach. **JAVIER DAZA, Nelly Ruth**, titulada:

“ELABORACION Y EVALUACION REOLÓGICA DE MERMELADA DE PIÑA (*Ananás comosus*)”

*Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**; en consecuencia el Bachiller, queda apto para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.*

Tingo María, 18 de junio de 2014

.....
Ing. Mg. Pedro A. Vejarano Jara
Presidente

.....
Ing. Alfredo Camora Ruiz
Miembro

.....
Ing. Jaime Basilio Atencio
Asesor

DEDICATORIA

A nuestro Dios eterno Jehová, por otorgarnos la vida, sabiduría, paciencia y amor, por ser mi guía en cada momento.

A mis Padres

Feliberto y Juliana con mucho amor, cariño y tanto sacrificio hicieron realidad mi más grande anhelo, por haberme apoyado en mis estudios y sé que siempre contare con ellos en todas y cada una de las metas que me he propuesto.

A mis hermanos

Luis, Yerli y Steeven, por su cariño y su apoyo en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por ser nuestra alma mater.
- A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias y a los maestros que conforman e impartieron sus conocimientos durante toda nuestra etapa estudiantil superior y a todos los docentes de la carrera.
- Al Ingeniero Jaime Eduardo Basilio Atencio, asesor de mi tesis, por su asesoramiento y apoyo que hizo posible la culminación del presente trabajo de Investigación y por ser ejemplo de dedicación, esfuerzo y trabajo a seguir.
- A quienes conforman el tribunal de tesis: Ing. Vejarano (Presidente de Tesis), Ing. Gunter Daza Rengifo, (Miembro de tesis), Ing. Carmona Ruiz, Alfredo (Miembro de tesis) por su abnegada colaboración para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.
- A mis amigas Chabely Camacho y Esmeralda Murga, me apoyaron en todo momento en la culminación de mi tesis.
- A todas aquellas personas que de una u otra forma han colaborado en el desarrollo de la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA.....	3
2.1 La Piña (<i>Ananás comosus</i>).....	3
2.1.1. Origen	3
2.1.2. Identificación taxonómica.....	3
2.1.3. Variedades de la piña	4
2.1.4. Composición nutricional.....	4
2.1. Características generales de la piña.....	5
2.2. Mermelada.....	6
2.2.1. Principios de conservación de mermeladas.....	7
2.3. Materias primas.....	7
2.3.1. Fruta.....	7
2.3.2. Azúcar.....	8
2.3.3. Pectina.....	8
2.3.4. Agua.....	9
2.3.5. Ácido cítrico.....	10
2.3.6. Conservadores.....	10
2.4. Condiciones de la cocción.....	11

2.4.1. Tiempo de cocción.....	11
2.4.2. Temperatura de calentamiento y cocción.....	12
2.5. Control de calidad de las mermeladas.....	12
2.6. Defectos en la elaboración de las mermeladas.....	13
2.7. Propiedades reológicas de jugos o pulpas para la elaboración de Mermeladas.....	17
2.8. Reología y viscosidad.....	17
2.8.1. Definición de reología.....	17
2.8.2. Aplicación de la reología en los alimentos.....	21
2.8.3. Factores que influyen en el comportamiento reológico.....	22
2.8.4. Características organolépticas.....	25
2.8.5. Medición con viscosímetro rotacional BROOKFIELD.....	27
2.9. Pruebas aceleradas.....	28
2.10. Orden de reacción.....	29
2.11. Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro.....	29
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Lugar de ejecución.....	31
3.2. Materia prima e insumos	31
3.2.1. Materia prima.....	31
3.2.2. Insumos	31
3.3. Materiales y equipos de laboratorios.....	32
3.3.1. Materiales de laboratorio.....	32
3.3.2. Equipo de laboratorio.....	32

3.4. Métodos de análisis.....	33
3.4.1. Análisis sensorial.....	33
3.4.2. Análisis químico proximal.....	33
3.4.3. Análisis reológico.....	34
3.5. Metodología.....	35
3.5.1. Determinación de parámetros para elaboración de la mermelada de piña.....	35
3.5.2. Descripción del flujo de operaciones.....	35
3.5.3. Evaluación organoléptica	38
3.5.4. Evaluación de análisis proximal.....	38
3.5.5. Evaluación reológica.....	38
3.5.6. Evaluación en el almacenamiento.....	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	39
4.1. Composición química proximal de la mermelada.....	39
4.2. Determinación de parámetro óptimo para la elaboración de la mermelada de piña.....	40
4.3. Evaluación reológica de los tratamientos	43
4.4. Relación del índice de consistencia y la evaluación organoléptica.....	46
4.5. Evaluación reológica durante el almacenamiento.....	48
4.6. Determinación del orden de reacción.....	54
4.7. Determinación de la energía de activación.....	58
V. CONCLUSIONES.....	62
VI. RECOMENDACIONES.....	63

VII. ABSTRACT.....	64
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
IX. ANEXO.....	70

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°	Título	Página
1.	Composición química de la piña (<i>Ananás comosus</i>) por 100g de pulpa.....	5
2.	Principales modelos matemáticos de los fluidos.....	21
3.	Composición de la mermelada de piña por cada 100g de parte comestible.	39
4.	Resultados de análisis estadísticos para el efecto de los tratamientos en los diferentes atributos sensoriales	40
5.	Comparación de medias de la evaluación sensorial del atributo apariencia general para los diferentes tratamientos de elaboración de mermelada de piña.....	41
6.	Comparación de medias de la evaluación sensorial del atributo textura para los diferentes tratamientos de elaboración de mermelada de piña.....	42
7.	Comparación de medias de la evaluación sensorial del atributo sabor para los diferentes tratamientos de elaboración de mermelada de piña.....	42
8.	Parametros reológicos de los tratamientos de elaboracion de mermelada de piña.....	43
9.	Comparación de medias del indice de consistencia de los diferentes tratamientos.....	46

10. Relación entre el índice de consistencia con la evaluación organoléptica..	47
11. Evaluación reológica durante el almacenamiento de mermelada de piña..	49
12. Índice de consistencia durante el almacenamiento a diferente temperatura ajustada al modelo de cinética de orden cero	55
13. Logaritmo del índice de consistencia (L_{nm}) a diferentes temperaturas	57
14. Constantes de velocidad de reacción de la variación del índice de consistencia consistencia de la mermelada de piña.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°	Titulo	Página
1.	Clasificación de los fluidos	18
2.	Flujograma para la elaboración de mermelada de piña.....	37
3.	Reograma del mejor tratamiento de 60% de pulpa,40% de azúcar y de pectina de mermelada de piña.....	44
4.	Relación entre el indice de consistencia con la evaluación organoleptica de los atributos apariencia general y textura	48
5.	Reograma de mermelada de piña almacenado a 30°C a diferentes tiempos de almacenamiento	50
6.	Reograma de mermelada de piña almacenado a 40°C a diferentes tiempos de almacenamiento	51
7.	Reograma de mermelada de piña almacenado a 50°C a diferentes tiempos de almacenamiento	52
8.	Reograma de mermelada de piña almacenado a Temperatura ambiente 27°C a diferentes tiempos de almacenamiento	53
9.	Variación del indice de consistencia con el tiempo de almacenamiento de la mermelada de piña, ajustado a una cinetica de orden cero	56

10. Variación del Ln del índice de consistencia con el tiempo de almacenamiento de la mermelada de piña, ajustada a una cinética de primer orden.....	57
11. Relación de coeficiente de velocidad de reacción con la temperatura ajustada a la ecuación de Arrhenius	59
12. Variación del coeficiente de velocidad de reacción de primer orden, con la inversa de la temperatura ajustada a la ecuación de Arrhenius.....	60

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en los laboratorios de Procesamiento Mínimo de la Planta Piloto, Análisis Sensorial y Análisis de Alimentos de la FIIA - UNAS. El objetivo del presente trabajo es la influencia que ejerce la temperatura en los parámetros reológicos durante el almacenamiento de la mermelada de piña (*Ananás comosus*). Se elaboró la mermelada de piña con diferentes porcentajes de pulpa /azúcar y pectina, y el mejor tratamiento se determinó por evaluación organoléptica, el resultado fue analizado estadísticamente usando el Software Statgraphics Plus 5.1. Se almacenó la mermelada de piña en estufas mediante pruebas aceleradas a 27 (T°Ambiente), 30, 40 y 50 °C, se evaluó los parámetros reológicos cada 5 días con un viscosímetro Brookfield DV-III. Ultra, determinándose el orden de reacción, Constante de velocidad de reacción y Energía de activación. Los resultados obtenidos del mejor tratamiento de mermelada de piña es 60% pulpa, 40% azúcar y 0,5% pectina, existiendo un efecto significativo en los tres atributos de apariencia general, textura y sabor, con un Pvalor < 0,05. Todos los tratamientos tiene un índice reológico de 0,320 a 0,426 e índice de consistencia entre 59,831 a 90,986, teniendo el mejor tratamiento con un $n = 0,3545$ y $m = 68$, esto indica que es un comportamiento Herschel- Bulkley. Los valores de índice de consistencia durante el almacenamiento a diferentes temperaturas se ajustan

a una ecuación de orden cero con $R^2=0,9896$. El valor del coeficiente de velocidad de reacción (k) de la cinética de orden cero y uno a diferentes temperatura, el que mejor se ajusta al modelo de Arrhenius es el orden cero con $R^2=0,9896$, con una energía de activación $E_a=6,748$ kcal/mol. La composición de la mermelada de piña es de 73,04% de carbohidratos, lo que indica que la mermelada de piña tiene un valor energético.

Palabras Claves: Mermelada, Herschel-Bulkley, Orden cero y uno, Velocidad de reacción y Energía de Activación.

I. INTRODUCCION

La piña (*Ananás comosus*), es un fruto producido y comercializado mundialmente, los principales países productores son China, Estados Unidos, Brasil, Tailandia, Filipinas, Costa Rica y México. En el Perú el principal centro productor de piña es la localidad de Aguaytía.

Al ser este fruto perecible, una de las formas de comercializarlos sería en forma de mermelada, jalea, jugo, néctar, fruta en almíbar, etc.

Para la producción industrial de mermelada se usan maquinarias como bombas, dosificadores, mezcladores, para el diseño de esta maquinaria es necesario conocer los parámetros reológicos del alimento que se está procesando. Así mismo los parámetros reológicos sirven como una medida de calidad durante el proceso y almacenamiento (RAO, 1986).

Sin embargo se desconoce los parámetros apropiados para la elaboración de mermelada y su comportamiento reológico.

La mermelada al ser un alimento semiperecible, requiere de pruebas aceleradas para determinar su estabilidad en almacenamiento.

En la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar los parámetros (pulpa/azúcar de 50/50; 60/40; con pectina de 0,5 y 0,1%.) adecuados para la elaboración de mermelada de piña (*Ananás comosus*).

- Evaluar reológicamente la mermelada de piña, procesado con diferentes contenidos de pulpa, azúcar y pectina.
- Determinar la cinética de deterioro de la viscosidad como parámetro de calidad durante el almacenamiento.
- Determinar la composición químico proximal de la mermelada de piña.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Piña

La piña (Ananás comosus), es una fruta tropical que forma parte del genero Ananás, de la familia de las Bromiláceas, la palabra ananá es de origen guaraní; el término "piña" se adoptó por su semejanza con el pino (MOLINA, 2010).

2.1.1 Origen

La piña es un fruto nativo de Sudamérica. Allí fue donde encontraron los colonizadores Españoles y Portugueses. (MOLINA, 2010).

2.1.2 Identificación taxonómica

La clasificación taxonómica de la piña, dada por MORENO (2010), citado por OIRSA (2005) es:

Categoría	: Grupo
Reino	: Vegetal
Clase	: Angiosperma
Subclase	: Monocotiledonea
Origen	: Farinosae

Familia : Bromeliaceae
Género : Ananás
Especies : *Ananás comosus*

2.1.3 Variedades

Las variedades de la piña han sido ampliamente expuestas por (UTEPI, 2006) y las clasifica en cuatro grupos diferentes:

- **Grupo cayena:** Euville, Rothfield, Hilo, Cayena lisa; y dentro de esta, las clases Chanpaca F- 153, Costa Rica 74 C, Guatemala, Hawaiana y Colombia.
- **Grupo queen:** Golden sweet o MD2, Back riplay y Pernambuco.
- **Grupo spanish:** Española, Puerto Rico, Blood.
- **Tipo peroleras:** Milagrefña (Ecuatoriana)

La variedad de cayena lisa es la más cultivada, como su nombre lo indica no tiene espinas en las hojas y la hawaiana tiene espinas en sus hojas.

2.1.4 Composición nutricional

La piña es una fruta que contiene un alto porcentaje de vitaminas (A, B1, B6, C y E) y minerales (cobre, potasio, magnesio, manganeso y yodo) los cuales están distribuidos entre la fibra y el 85 % de agua que contiene. ESTRADA (2010), FONNEGRA (2010) y MARTINEZ (2010).

Cuadro 1. Composición química de la piña (*Ananás comosus*) por 100 g. de pulpa

Componentes	Cantidad (100 gr de pulpa)
Energía	52,00 cal.
Agua	84,50 g.
Proteínas	0,40 g.
Lípidos	0,20 g.
Fibra	0,40 g.
Carbohidratos	13,70 g.
Vitaminas A (Retinol)	5,00 mg.
Vitamina C (Ác. asc)	61,00 mg
Calcio	18,00 mg.
Hierro	0,50 mg.
Fósforo	8,00 mg.
Niacina	0,20 mg.
Ceniza	0,30 gr.
Tiamina	0,08 mg.
Riboflavina	0,04 mg.

Fuente: Flores (2007).

2.1.5 Características generales de la piña (*Ananás comosus*)

La planta presenta un tallo corto de consistencia herbácea, gruesa y con entrenudos muy juntos, las raíces son pequeñas en relación al tamaño de la parte aérea en suelos fértiles y de buena aireación, son numerosas, cortas, turgentes y densamente cubiertas por pelos absorbentes, en cambio en suelos infértiles y de poca aireación son escasas, delgadas y con pocos pelos

absorbentes, las hojas insertadas en verticilios aparecen densamente agrupadas; después de un año de crecimiento se inicia la formación de la inflorescencia. El peso del fruto varía entre uno a diez libras o más, es de forma oval o cilíndrica y el color varía de amarillo a naranja (REINA et. al, 1994).

2.2 Mermelada

Según BARONA (2007) la mermelada de frutas es un producto de consistencia pastosa o gelatinosa, obtenida por cocción y concentración de frutas sanas, adecuadamente preparadas, con adición de edulcorantes, con o sin adición de agua. La fruta puede ir entera, en trozos, tiras o partículas finas y deben estas dispersas uniformemente en todo el producto.

La elaboración de mermelada sigue siendo uno de los métodos más populares para la conservación de las frutas en general.

MEYER (1996) afirma sobre mermelada que es un producto elaborado con pulpa de fruta y azúcar, la solidificación se debe a la presencia de pectina y ácidos en la fruta. La pectina tiene el poder de solidificar una masa que contiene 65% de azúcares y hasta 0,8% de ácidos, este contenido de ácidos debe resultar en un pH de 3,0 hasta 3,4 en la elaboración de mermeladas, también se añaden pectina y ácidos para reducir los tiempos de elaboración y para obtener una mejor calidad.

Las mermeladas se encuentran clasificadas dentro de los fluidos Pseudoplásticos los cuales son independientes del tiempo y la viscosidad aparente disminuye con el aumento del esfuerzo cortante (IBARZ, 2006).

2.2.1 Principios de conservación de la mermelada

GAMARRA (2007) la elaboración de mermeladas es una forma de conservar pulpas de frutas por acción de azúcares y niveles de acidez. Los azúcares como la glucosa, fructosa, sacarosa, deben su acción conservadora a la propiedad que poseen, de retener agua, que de esta forma no es disponible para el desarrollo de microorganismos causantes de alteración y descomposición.

Las concentraciones altas de azúcar reducen la actividad acuosa de los alimentos a conservar, en forma análoga a la desecación. Este método de conservación es utilizado principalmente en jaleas, mermeladas, frutas confitadas, manjar blanco y miel de abeja.

En las mermeladas, la acción conservadora del azúcar es completamente por niveles altos de acidez, que determinan valores de pH entre 3,0 y 3,5 en el producto terminado; en este rango de pH, la mayoría de microorganismos no puede desarrollar y son menos resistentes al calor, siendo esta la razón por la que los productos ácidos se esterilizan con tratamientos térmicos leves.

2.3 Materias primas

2.3.1 Fruta

MEYER (1996) manifiesta que el estado de madurez de las frutas es importante para obtener un producto con las características deseadas. La cosecha de estas debe efectuarse en el momento adecuado. Una recolección en

época inadecuada favorece el desarrollo de anomalías que son perjudiciales para el procesamiento y conservación del producto.

La calidad de la mermelada depende de la calidad de la materia prima, las características de la fruta a considerar son que se encuentren sanas, el color, la consistencia, el grado de descomposición y el grado de madurez. La fruta se puede clasificar en función del contenido de pectinas naturales. Cuanto más tiempo de almacenamiento tiene la fruta, menos cantidad de pectina tendrá (INTI, 2009).

2.3.2 Azúcar

Según (BARONA, 2007) el azúcar es un ingrediente esencial. Desempeña un papel vital en la gelificación de la mermelada al combinarse con la pectina. Es importante señalar que la concentración de azúcar en la mermelada debe impedir tanto la fermentación como la cristalización. Resultan bastante estrechos los límites entre la probabilidad de que fermente una mermelada porque contiene poca cantidad de azúcar y aquellos en que puede cristalizar porque contiene demasiada azúcar. El azúcar a utilizarse debe ser de preferencia azúcar blanca, porque permite mantener las características propias de color y sabor de la fruta.

2.3.3 Pectina

(BARONA, 2007) la fruta contiene en las membranas de sus células una sustancia natural gelificante que se denomina pectina. La cantidad y

calidad de pectina presente, depende del tipo de fruta y de su estado de madurez. En la preparación de mermeladas la primera fase consiste en resblandecer la fruta de forma que se rompan las membranas de las células y extraer así la pectina. La solución de pectina comercial es de calidad bastante uniforme y para los fines corrientes de la fábrica, la determinación de la pectina basada en la prueba del pectato cálcico resulta demasiado complicada y no siempre las cifras de pectato cálcico reflejan el poder gelatinizante de la pectina. En estos casos es recomendable realizar ensayos frecuentes de formación de gel.

La pectina es el agente gelificante el cual durante la cocción es sometida a una transformación física que permite la unión físico – química del conjunto de los ingredientes que conforman la mermelada (fruta, agua, azúcar y ácido). El azúcar y el ácido son los agentes que ocasionan estas transformación física, mientras que el agua es el solvente dónde son disueltos los ingredientes. Generalmente el contenido de pectina en la fruta, es insuficiente para formar un buen gel, por lo que es necesario incorporarla (GRACIA y PAREDES, 2001).

2.3.4 Agua

(BARONA, 2007) Debe evitarse una cocción excesiva y adicionar únicamente la cantidad de agua absolutamente necesaria para obtener el peso final correcto. Con vistas a obtener una calidad uniforme debe emplearse siempre la misma cantidad de agua.

2.3.5 Ácido cítrico

(BARONA, 2007) en las mermeladas, la acción conservadora del azúcar es complementada por niveles altos de acidez, que determinan valores de pH entre 3,0 y 3,5 en el producto terminado; en este rango de pH, la mayoría de microorganismos no pueden desarrollarse.

El ácido cítrico es importante no solamente para la gelificación de la mermelada sino también para conferir brillo al color de la mermelada, mejora el sabor, ayuda a evitar la cristalización del azúcar y prolonga su tiempo de vida útil. El ácido cítrico se añadirá antes de cocer la fruta ya que ayuda a extraer la pectina de la fruta.

El ácido cítrico se lo encuentra en forma granulada y tiene un aspecto parecido a la azúcar blanca. La cantidad que se emplea de ácido cítrico varía entre 0,15 y 0,2 % del peso total de la mermelada. La mermelada debe llegar a un pH 3,5 ya que esto garantiza la conservación del producto.

2.3.6 Conservadores

(BARONA, 2007) los conservadores son sustancias que se añaden a los alimentos para prevenir su deterioro, evitando de esta manera el desarrollo de microorganismos, principalmente hongos y levaduras. Los conservantes químicos más usados son el sorbato de potasio y el benzoato de sodio.

Los conservadores se usan para inhibir desarrollo de hongos y levaduras y asegurar la conservación del producto después que se ha abierto el envase. La cantidad del conservante no debe exceder el 0,1 % del peso de

mermelada, preparando en recipientes limpio y seco disolviendo en una pequeña cantidad de agua tibia.

2.4 Condiciones de la cocción

El regular las condiciones en que se efectúa la cocción es tan importante como el control de las materias primas. Muchas fábricas tienen sus sistemas propios de cocción, basados en la observación y experiencia, pero, no obstante, ciertas reglas básicas deben observarse con carácter general. (RAUCH, 1950).

2.4.1 Tiempo de cocción

Un tiempo de cocción corto es de una gran importancia para conservar el color y sabor natural de la mermelada. Es conveniente recordar que una excesiva cocción aumenta en grado extremo de la inversión del azúcar. Los factores más importantes que afectan al tiempo de cocción son: la relación entre el volumen de la paila de cocción y su superficie de calentamiento efectiva; la conductividad del calor de la mezcla al cocer, la temperatura de la superficie de calentamiento y la presión de vapor.

Durante la fase de cocción, parte de la humedad de la mezcla a cocer se evapora. Cuando mayor es la cantidad contenida en las pailas de cocción, en relación con la superficie de calentamiento, más prolongado es el tiempo de cocción. Es también importante que las mermeladas, después de haber terminado la cocción, no se dejen en la paila, porque de lo contrario la

inversión se aumenta grandemente. La mermelada, inmediatamente después de haberse cocido, deberá sacarse y proceder a llenar con ella los tarros o envases.

2.4.2 Temperaturas de calentamiento y de cocción

Debe hacerse una distinción entre la temperatura de calentamiento y la temperatura de cocción. La primera es la temperatura necesaria para empezar a trabajar en las pailas de cocción y la segunda es la temperatura precisa para hervir la mezcla de mermelada hasta que alcance el peso teórico de la receta. La temperatura de calentamiento de la paila de cocción depende de la presión del vapor. La temperatura de cocción de la mermelada está influida por la densidad de la mezcla y la presión barométrica que reina durante el transcurso de esta operación; ambos factores varían continuamente. El medio de control más seguro de que dispone el encargado de la cocción de la mermelada, para determinar el punto óptimo final, es el peso del producto terminado y su contenido en sólidos solubles.

2.5 Control de calidad de las mermeladas

Según (MANCHENO, 2011) la mermelada, como todo alimento para consumo humano, debe ser elaborada con las máximas medidas de higiene que aseguren la calidad y no ponga en riesgo la salud de quienes la consumen. Por lo tanto debe elaborarse en buenas condiciones de sanidad, con frutas maduras, frescas, limpias y libres de restos de sustancias tóxicas. Puede prepararse con pulpas concentradas o con frutas previamente elaboradas o conservadas,

siempre que reúnan los requisitos mencionados. El control de las mermeladas debe contar con una serie de equipos y elementos que le permitan realizar algunos controles mínimos a las materias primas. Entre estos elementos se hallan:

- **Termómetro:** Para la medición de temperatura de ebullición y quizás determinar el punto final al que debe alcanzar la concentración de la mermelada.
- **Refractómetro:** Los sólidos solubles a 20°C mínimo 64% y máximo 68%. Para determinar los °Brix de materias primas, los de la masa en proceso; y finalmente del producto terminado. Con este aparato se puede determinar con una gota de muestra la concentración de sólidos solubles de determinado momento del proceso de concentración.
- **Potenciómetro:** Para la medida del pH. No se recomienda emplear papeles indicadores teniendo en cuenta su baja precisión y la necesidad de ajustar este valor en un rango tan estrecho. Antes de determinar el valor de pH se debe calibrar el equipo con soluciones buffers frescas y de valor cercano a 3,5. La medida debe tomarse a temperatura ambiente o hacer la respectiva corrección en el equipo.
- **Ridgelímetro:** Para el control de la graduación de la pectina.

2.6 Defectos en la elaboración de las mermeladas

Técnicos experimentados pueden diagnosticar frecuentemente el defecto sin una investigación extensiva. Sin embargo, es más prudente apoyar el

diagnóstico basándose en hechos obtenidos por medios más científicos. Los factores siguientes deberán comprobarse en seguida: contenido en sólidos solubles (°Brix), acidez libre, valor del pH, porcentaje de inversión, grado de gelatinización, color y sabor.

Aparte de la apreciación del sabor y el color, que son en cierto modo, de naturaleza subjetiva, los números obtenidos podrán, en muchos casos, dar valores que servirán de guía para averiguar las faltas en la elaboración de mermelada (SMITH, 2007).

2.6.1 Causas de mermelada poco firme

- La cocción prolongada causa la hidrólisis de la pectina, dando lugar a un producto de consistencia como de jarabe.
- Una acidez demasiado alta tiene un efecto similar, rompe el sistema reticular de la mermelada, causando sinéresis.
- Una acidez demasiado baja perjudica a la capacidad de gelatinización de la pectina y frecuentemente impide la formación de gel.
- La fruta contiene “tampones” en forma de sales minerales naturales.
- Estas sales retrasan y si se encuentran en proporciones elevadas, impiden por completo la gelatinización.
- La carencia general de pectina en la fruta o pulpa de fruta.
- Demasiado azúcar en relación a la pectina. Fórmula mal equilibrada.
- Un excesivo enfriamiento antes del envasado origina el fenómeno referido frecuentemente como “rotura de gel”.

2.6.2 Causas de sinéresis (llorar o sangrar)

- Acidez demasiado elevada.
- Deficiencia en pectina.
- Exceso de agua (demasiado baja en sólidos).
- Exceso de azúcar invertido.

2.6.3 Causas de cambio de color

- Cocción prolongada causa la caramelización del azúcar o afecta a la clorofila que se vuelve parda.
- Insuficiente enfriamiento después del envasado. Se observa frecuentemente cuando se llenan envases grandes en una sola operación.
- Pulpa descolorida se observa con frecuencia cuando se utiliza pulpa de fresas mal limpiadas. El anhídrido sulfuroso, usualmente en máscara el verdadero color de la pulpa, y la pérdida de color solamente se pone de manifiesto después de la cocción.
- Empleo de tampones en exceso.
- Contaminación con metales. Los fosfatos de magnesio y potasio, los oxalatos u otras sales insolubles de estos metales producen enturbiamiento. El estaño, el hierro y sus sales pueden originar un aspecto lechoso u oscurecimiento.
- Causas biológicas. Los daños mecánicos o una madurez excesiva causan el pardeamiento de un gran número de variedades de fruta.

2.6.4 Causas de cristalización

- Una acidez demasiado elevada provoca una excesiva inversión de azúcar, dando lugar a la granulación de la dextrosa.
- Una acidez demasiado baja provoca la cristalización de la sacarosa.
- Una prolongada cocción es causa de una inversión excesiva.
- La permanencia de la mermelada en las pailas después de haberse hervido da lugar a una inversión excesiva, provocando la granulación de la dextrosa.

2.6.5 Causas de endurecimiento o encogimiento de la fruta en mermelada

- Al someter a ebullición la fruta o piel en jarabes concentrados con insuficiente pre cocción. Si la piel es demasiado dura, así como la fruta, no son capaces de absorber el azúcar.
- Se aprecia esto, frecuentemente, en la mermelada de grosellas negras y en la de frutos cítricos.
- Fruta o piel pre cocidas en agua de elevada dureza.

2.6.6 Causa de desarrollo de hongos y crecimiento de levaduras en la superficie

- Humedad excesiva en el almacén donde se guarda las mermeladas.
- Contaminación anterior al cierre de los botes o tarros.
- Bajo contenido en sólidos solubles del producto (límite 65%).

- Contaminación de las películas o membranas utilizadas como tapas de los tarros.
- Mermelada poco firme (los fermentos pueden crecer en estas mermeladas poco firmes).

2.7 Propiedades reológicas de jugos o pulpas para la elaboración de mermeladas

De acuerdo con (IBARZ et al, 2006) la mayoría de los productos líquidos o semilíquidos obtenidos a través del procesamiento de frutas son comercializadas como purés o jugos, pudiéndose encontrar estos últimos como concentrados, clarificados, despectinizados o no despectinizados.

La determinación de las pruebas reológicas de los jugos de fruta es de gran importancia para generar los cálculos adecuados para su calentamiento, enfriamiento y transporte por bombeo dentro de las plantas procesadoras de alimentos.

Asimismo dichas propiedades son de gran relevancia para el control de calidad del jugo y además, existe una correlación que las relaciona con la aceptabilidad por parte del consumidor.

2.8 Reología y viscosidad

2.8.1 Definición de Reología

Según (RAMIREZ, 2006) la reología es la ciencia del flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos. Como por

ejemplo en muchas industrias, incluyendo las de plásticos, pinturas, alimentación, tintas de impresión, detergentes y aceites lubricantes

Según (IBARZ et al., 2006) la reología es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia. Su objetivo está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas, desarrollando posteriormente un modelo matemático que permita obtener las propiedades reológicas del material.

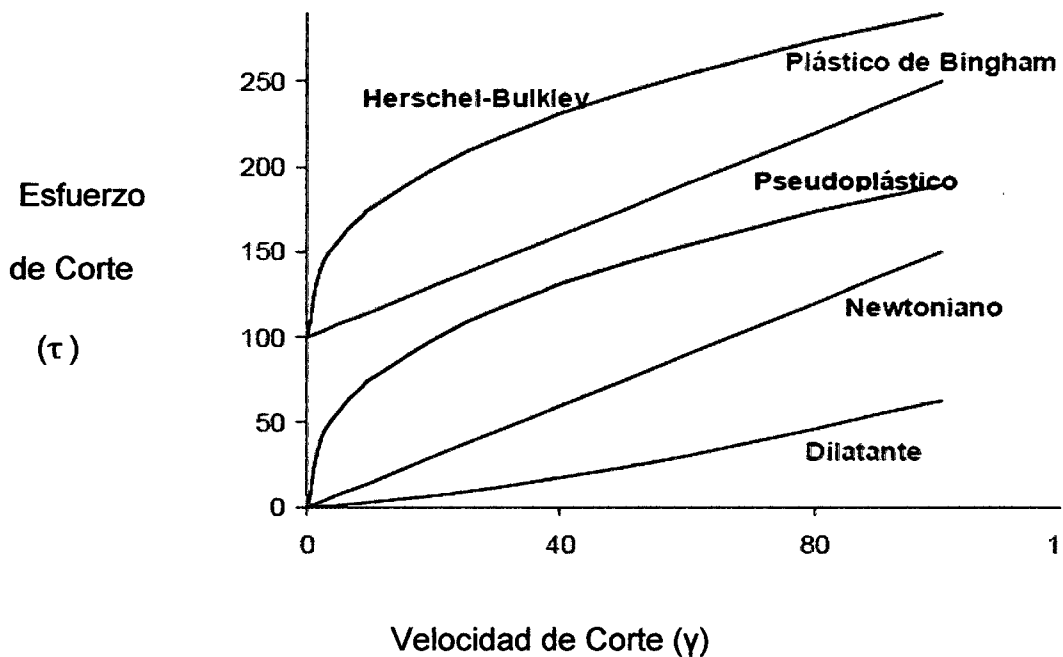


Figura 1. Clasificación de los fluidos

Las características reológicas de un fluido son uno de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial. Frecuentemente, éstas determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento

mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado, envasado, almacenamiento y estabilidad física, e incluso en el momento del consumo (textura).

Según (RAMIREZ, 2006) las propiedades reológicas se definen a partir de la relación existente entre fuerza o sistema de fuerzas externas y su respuesta, ya sea como deformación o flujo. Todo fluido se va deformar en mayor o menor medida al someterse a un sistema de fuerzas externas. Dicho sistema de fuerzas se representa matemáticamente mediante el esfuerzo cortante " τ_{xy} ", mientras que la respuesta dinámica del fluido se cuantifica mediante la velocidad de deformación "D".

(RAMIREZ, 2006) afirma que existen diferentes tipos de comportamientos reológicos para los fluidos alimenticios, los cuales se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- **Fluidos Viscoelásticos:** Se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos. Las características de los productos viscoelásticos varían desde los líquidos viscosos con propiedades elásticas (modelo de Maxwell) a las de los sólidos con propiedades viscosas (modelo de Kelvin-Voigt). En condiciones normales, no es apreciable la elasticidad debida al estiramiento de los enlaces interatómicos y se puede afirmar que la elasticidad de los alimentos viscoelásticos es debido a la deformación elástica de las macromoléculas. En los alimentos viscoelásticos es frecuente que sólo se dé una recuperación parcial, porque la red tridimensional elástica se desintegra bajo el efecto de la tensión. Como por ejemplo son la nata, la gelatina y los helados.

- **Fluido newtoniano:** Es aquel fluido que presenta una viscosidad constante dependiente de la temperatura pero independiente de la velocidad de deformación que le sea aplicada.
- **Fluido no newtoniano:** Este tipo de fluido no tienen una sola viscosidad a una temperatura dada, se dice que son dependientes tanto la temperatura como la velocidad de deformación y pueden ser también dependientes del tiempo. Con base en esta última condición los fluidos no newtonianos pueden clasificarse en:
 - **Pseudoplástico:** Para este tipo de fluido la viscosidad decrece conforme se incrementa la velocidad de deformación, la razón por la cual se da este comportamiento, es que al haber mayor velocidad de deformación las partículas de este tipo de fluido se reacomodan de tal modo que existe una menor resistencia al flujo y por lo tanto una menor viscosidad. Como por ejemplo algunos tipos de ketchup, mostaza, algunas clases de pinturas y suspensiones acuosas de arcilla.
 - **Dilatante:** La viscosidad de estos fluidos incrementa al mismo tiempo que la velocidad de deformación incrementa, este tipo de comportamiento es común en suspensiones de muy alta concentración. Como por Ejemplos de este tipo de fluidos son: la harina de maíz, las disoluciones de almidón muy concentradas, la arena mojada y dióxido de titanio, etc.
 - **Plásticos y plásticos de bingham:** Estos fluidos requieren la aplicación de una fuerza antes de que el material comience a fluir. A dicha fuerza se le conoce como esfuerzo de cedencia. Como por ejemplo son el chocolate, la arcilla, la mantequilla, la mayonesa, la pasta de dientes, las emulsiones y las espumas.

El objetivo es identificar el comportamiento reológico de un fluido cotidiano mediante una metodología adecuada para la operación de un viscosímetro rotacional y obtengan así mediciones reológicas óptimas que lleven a la interpretación de algún modelo matemático expuesto (CARMONA, 2008)

Cuadro 2. Principales modelos matemáticos para fluidos. Esfuerzo cortante (τ), velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$), índice de consistencia (k) e índice de comportamiento del fluido (n).

Tipo de Fluido	Ecuación
Fluido ideal de Bingham	$\tau = \tau_0 + \mu\dot{\gamma}$
Ley de Newton	$\tau = \mu\dot{\gamma}$
Ley de Ostwald	$\tau = k(\dot{\gamma})^n$

Fuente. REGALADO y NORIEGA (2008).

2.8.2 Aplicación de la reología en los alimentos

(GARZA, 1998) el conocimiento adecuado de las propiedades reológicas de los alimentos es muy importante por numerosas razones, entre las que destacan las aplicaciones que se detallan a continuación:

- **Diseño de procesos y equipos en ingeniería:** El conocimiento de las propiedades de comportamiento al flujo y de deformación de los alimentos son imprescindibles en el diseño y dimensionado de equipos tales como cintas transportadoras, tuberías, tanques de almacenamiento, pulverizadores o bombas para el manejo de alimentos. Además, la viscosidad se utiliza para

la estimación y cálculo de los fenómenos de transporte de cantidad de movimiento, calor y energía.

- **Evaluación sensorial:** Los datos reológicos pueden ser muy interesantes para modificar el proceso de elaboración o la formulación de un producto final de forma que los parámetros de textura del alimento se encuentren dentro del rango considerado deseable por los consumidores.
- **Obtener información sobre la estructura del alimento:** Los estudios reológicos pueden aportarnos información que facilite una mejor comprensión de la estructura o de la distribución de los componentes moleculares de los alimentos, especialmente de los componentes macromoleculares, así como para predecir los cambios estructurales durante los procesos de acondicionamiento y elaboración a los que son sometidos.
- **Control de calidad:** Las medidas de la viscosidad en continuo son cada vez más importantes en muchas industrias alimentarias con objeto de controlar el buen funcionamiento del proceso productivo, así como la calidad de las materias primas, productos intermedios y acabados.

2.8.3 Factores que influyen en el comportamiento reológico

Existen muchos factores que influyen en el comportamiento reológico de los alimentos como son la presión, la estructura del alimento, el gradiente de velocidad o velocidad de deformación y el tiempo de tratamiento de la muestra. Pero son, quizás, la temperatura de tratamiento y la concentración del alimento los más importantes y los que más se han estudiado

2.8.3.1 Efecto de la temperatura: factor que afecta la viscosidad

Según (CARMONA, 2008) la viscosidad de un alimento líquido disminuye con la temperatura. Existen varias fórmulas que permiten evaluar la variación de la viscosidad de un líquido al cambiar la temperatura. Las más importantes son:

La ecuación de Arrhenius

$$u = Ae^{B/T}$$

Siendo:

u: viscosidad dinámica (mPa*s).

A y B: Constantes dependientes del líquido.

T: Temperatura absoluta en °C.

Como se ve en la ecuación, la viscosidad disminuye con la temperatura. Esto es debido al hecho de que, conforme aumenta la temperatura, las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética, dando lugar a una disminución de la viscosidad. Por este hecho se deben extremar las precauciones a la hora de medir la viscosidad, teniendo en cuenta que la temperatura debe permanecer prácticamente constante.

En el caso de los fluidos newtonianos, la expresión que correlaciona la viscosidad con la temperatura es una ecuación tipo Arrhenius. Sin embargo, para fluidos no newtonianos suele relacionarse la viscosidad aparente a una velocidad de deformación fijada, en lugar de viscosidad.

$$\eta\alpha = \eta^\infty \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right)$$

En la que E_a es la energía de activación al flujo; η^∞ es una constante denominada viscosidad de deformación infinita; R la constante de los gases y T la temperatura en grados Kelvin.

Para fluidos no newtonianos, también suele utilizarse el índice de consistencia en lugar de la viscosidad aparente. Esta ecuación es la más utilizada en la bibliografía para todo tipo de fluidos alimentarios; aunque existen otras.

$$Y = Y^\circ \exp(-BT)$$

En la que Y es la viscosidad o bien el esfuerzo umbral, mientras que T es la temperatura expresada en grados Celsius, y B es una constante.

2.8.3.2 Efecto de la concentración

Se han descrito dos tipos de correlaciones o modelos matemáticos para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad, una según un modelo potencial:

$$\eta = K_1 C^{A_1}$$

y otra según un modelo exponencial:

$$\eta = K_2 \exp(A_2 C)$$

En estas ecuaciones K_1 , K_2 , A_1 y A_2 son constantes y C es el contenido en sólidos solubles del fluido expresado en °Brix. Estas ecuaciones también son válidas para estudiar el efecto de la concentración en el índice de consistencia. El modelo potencial da resultados satisfactorios en purés

de frutas y hortalizas altamente viscosos. Sin embargo, los mismos autores encontraron que para zumos de fruta concentrados el modelo exponencial proporcionaba mejores ajustes.

2.8.4 Características organolépticas

Según (CARMONA, 2008) para el consumidor, los atributos más importantes de los alimentos los constituyen sus características organolépticas, estas características son: Textura, Bouquet, Aroma, Forma, Color.

Son estos que determinan las preferencias personales por determinados productos, pequeñas diferencias, entre las características organolépticas de productos semejantes, de marcas distintas son determinantes de su grado de aceptación.

2.8.4.1 Textura

En muchos alimentos la textura es un factor de calidad importante. La sensación de dureza, suavidad, crocantes, tiesura, sequedad, blandura, untuosidad, pegajosidad, apelmazamiento, espesura, viscosidad, etc. que se percibe al tocar, presionar, masticar, beber, etc. algunos alimentos es un criterio de discriminación para aceptar o rechazar un producto, en función a lo que cada persona define o percibe como calidad de un producto.

Los cambios de textura que se producen en un alimento, después de ser procesados o almacenados se deben a cambios debido a la pérdida de agua o de grasa, formación o rotura de emulsiones, hidrólisis de

carbohidratos, coagulación o hidrólisis de las proteínas. Todas estas características de textura son comprendidas dentro del campo de la reología.

2.8.4.2 Sabor bouquet y aroma

Los atributos de sabor de un producto alimenticio, están relacionados con sus niveles de dulzor, amargor y acidez estos tres sabores básicos (que al combinarse producen otros), tienen que ver con la composición físico química del alimento. Se podría hablar de excepciones en la variación del sabor, en productos que han variado debido a un proceso metabólico como en el caso de las frutas y hortalizas, los que van pasando de un estado de madurez a otro. Por otro lado los alimentos frescos contienen una serie de mezclas de componentes volátiles, que suelen perderse en el proceso de elaboración y que esto hace que cambie su bouquet y sabor característico.

Muchas veces en el proceso productivo o elaboración se produce calor, radiaciones ionizantes, oxidación o actividad enzimática, actuando sobre las proteínas, grasas, carbohidratos u otros componentes, produciendo de esta manera compuestos aromáticos volátiles diversos, que en algunas ocasiones favorecen al producto y en otras no. El aroma de un alimento está determinado por una compleja combinación de centenares de compuestos.

2.8.4.3 Color

Los pigmentos naturales de un alimento se destruyen en el proceso de elaboración debido a: tratamiento térmico, transformaciones

químicas, cambios de pH y oxidación durante almacenamiento. Al perder sus pigmentos naturales el alimento elaborado pierde su color natural característico, obligando a algunos empresarios de alimentos a utilizar pigmentos sintéticos, los cuales son más estables a la luz, al calor y a cambios de pH, pero en la actualidad estos colorantes no son de mucha recomendación por sus propiedades cancerígenas.

2.8.5 Medición con viscosímetro rotacional BROOKFIELD

Según (CARMONA, 2008) el viscosímetro Brookfield es un viscosímetro rotacional: produce la rotación de un elemento sensor en un fluido y mide el torque necesario para vencer la resistencia viscosa al movimiento inducido. El elemento inmerso (huso) es accionado por un motor sincronizado a través de un resorte de cobre – berilio. El grado al cual es girado el resorte, indicado por el dial o por la pantalla digital, es proporcional a la viscosidad del fluido. Se puede medir una variedad de rangos de viscosidad utilizando una velocidad de transmisión múltiple (4 u 8) y husos intercambiables.

Con este viscosímetro se pueden hacer medidas de viscosidad empleando el mismo huso a diferentes velocidades para detectar y evaluar las características reológicas del material examinado. La resistencia al flujo se incrementa conforme se incrementa el tamaño del huso y/o la velocidad rotacional.

- Asimismo se recomienda tener las siguientes consideraciones:
- Registro de datos.

- El huso.
- Selección de la velocidad del huso.
- Tamaño del contenedor de la muestra.
- Condiciones de la muestra.
- Inmersión del huso.
- Sensibilidad y exactitud.
- Obtención de las lecturas de viscosidad.

2.9 Pruebas aceleradas

Las pruebas aceleradas consisten en experimentos de almacenamiento a condiciones extremas, con el fin de predecir, con un cierto margen de incertidumbre, la estabilidad o pérdida de calidad del alimento.

Según (LABUZA y SCHMIDL, 1985) estas predicciones se darán en un periodo de tiempo mucho más corto que con los métodos tradicionales.

La predicción del tiempo en que se mantiene estable la calidad de un alimento depende de ciertos factores físicos los cuales varían en función del tiempo en la distribución. La temperatura ha sido el factor más estudiado.

Los alimentos están generalmente sujetos a condiciones de deterioro extremas para acelerar la reacción y reducir el tiempo requerido para el estudio. Lo más usado es almacenar el producto a altas temperaturas.

2.10 Orden de reacción

(LABUZA, 2000) menciona que es sumamente complejo reconocer un sistema alimentario con respecto a las pérdidas de calidad, lo cual es representado por la pérdida de un factor de calidad A (ejemplo: el sabor) o el aumento de un factor indeseable (ejemplo: valor de peróxido). Las velocidades de pérdida son representadas por la ecuación:

$$\pm \frac{dA}{dt} = K.A^n$$

Obteniéndose las siguientes ecuaciones para diferentes órdenes de reacción (n):

$$n = 0: A_0 - A = k.t$$

$$n = 1: \ln (A_0/A) = k.t$$

$$n > 1: 1/A^{n-1} - 1/A_0^{n-1} = (n-1) k.t$$

Por regresión de los datos experimentales se puede obtener la constante de velocidad de reacción (k), a una determinada temperatura.

2.11 Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro

(LABUZA, 2000) menciona la importancia de la temperatura en las velocidades de reacción y que estos es reconocido por mucho tiempo.

Generalmente la velocidad de reacción se incrementa conforme la temperatura aumenta. El más prevaeciente y ampliamente usado es la relación de Arrhenius.

La ecuación de Arrhenius, desarrollada teóricamente para las reacciones químicas moleculares reversibles, ha demostrado experimentalmente sostener empíricamente varios y complejos fenómenos físico-químicos (ejemplo: viscosidad, difusión, porción). También se ha mostrado la reacción de pérdida de calidad de alimentos descritas por modelos cinéticos mencionados para seguir un comportamiento de Arrhenius con la temperatura.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Lugar de ejecución

El Presente trabajo de investigación se realizó en los laboratorios: Análisis de Alimentos, Laboratorio de Procesamiento Mínimo, laboratorio de Análisis Sensorial y laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, los cuales son ubicados en la Universidad Nacional Agraria de la selva (Av. Universitaria s/n), en el Km 1,5 de la carretera central Tingo María – Huánuco, en la región de Huánuco, Provincia de Leoncio Prado, en el Distrito de Rupa Rupa, ubicado a 660 m.s.n.m. con una humedad relativa promedio (HR) de 84,5% y una temperatura promedio de 27°C.

3.2 Materia prima e insumos

3.2.1 Materia prima

La materia prima empleada tanto para los trabajos preliminares como se utilizó la Piña de la variedad Huawaiiana (*Ananás comosus*), procedente de Aguaytía, las piñas en estado maduro.

3.2.2 Insumos

- Azúcar blanca.
- Pectina cítrica al 0,5%.

- Ácido cítrico 1,24 g.
- Bicarbonato de sodio al 1,56 g.
- Sorbato de potasio al 0,02%.

3.3 Materiales y equipos de laboratorio

3.3.1 Materiales de laboratorio

3.3.1.1 Materiales de vidrio

- Vasos de precipitación de 600 ml marca marienfeld.
- Envases tapa rosca de 1 Kg.
- Termómetro (0-100°C).

3.3.1.2 Materiales de Plástico

- Jarras de 1 L.
- Tablas de picar.

3.3.1.3 Materiales de aluminio, y acero inoxidable

- Cocina
- Ollas de 5 a 8 L
- Tazones de 5 y 10 L.
- Cuchillos.
- Cucharones.
- Cucharas.

3.3.2 Equipo de laboratorio

3.3.2.1 Equipos de laboratorio

- Viscosímetro Brookfield DV-III Ultra
- Refractómetro Marca Link japan

- Estufa TOMOS ODHG – 9076 Heating Drying Oven.
- Balanza analítica, marca AEADAM, modelo AP210S, de 0 - 210 g de cap. (USA).
- Balanza de plataforma, marca AEADA, modelo CFC-660a, de 0-300Kg de capacidad (USA).
- pH metro, marca Orión Reserarch, modelo 301-USA.
- Pulpeadora

3.3.2.2 Para el procesamiento de datos

- Computadora
- Software Statgraphics Plus 5.1, Para Windows.
- Software Rheocalc para Windows

3.4 Métodos de análisis

3.4.1 Análisis sensorial

La evaluación sensorial, apariencia general, olor, color, sabor y textura, utilizo un panel de jueces semientrenados que analizan las mermeladas a través de su sentidos, donde pondrán su calificación de acuerdo a una escala hedónica y se realizó el análisis estadístico mediante pruebas no paramétricas.

3.4.2 Análisis químico proximal

La mermelada fue sometida a los siguientes análisis.

- **Humedad:** Se basa en una medición gravimétrica de pérdida de peso, por el método de la estufa, según lo indicado por (AOAC, 1997).

- **Proteína:** Se determinó por el método kjeldahl, se ha obtenido por oxidación de la materia orgánica en digestión con ácido sulfúrico a temperatura de ebullición, obteniéndose como resultado el sulfato de amonio, después ingresa a un proceso de Destilación obteniéndose el amoniaco, encontrándose posteriormente el porcentaje de proteína, empleándose el factor 6,25 para los cálculos; procedimiento descrito por (AOAC, 1997).
- **Grasa:** Se determinó por el método soxhlet, Consiste en extraer la muestra deshidratadas por el solvente (hexano), el cual es expresado en porcentaje; descrito por (AOAC, 1997).
- **Fibra:** Se determinó eliminando los carbohidratos solubles por hidrólisis a compuestos más simples, mediante la acción de los ácidos y álcalis débiles a ebullición solubilizando los carbohidratos; procedimiento descrito por (AOAC, 1997).
- **Ceniza:** Método Gravimétrico, consistió en la incineración de la muestra a 600°C, en una mufla por 4 horas para quemar totalmente el material orgánico; descrito por (AOAC, 1995).

3.4.3 Análisis reológico

Las evaluaciones reológicas se realizaron utilizando el Viscosímetro Brookfield DV-III. Ultra. Empleando el splinde N° 06 para la medición de las lecturas y un Software Rheocalc para Windows.

3.5 Metodología

3.5.1 Determinación de parámetros para elaboración de mermelada de piña

La mermelada de piña se elaboró siguiendo las operaciones indicadas en la figura 2. Se evaluaron diferentes niveles de pulpa /azúcar (50 / 50, 60 / 40), porcentaje de pectina (0,5; 1 %), con 65°Brix y un pH de 3,5. La determinación de los parámetros óptimos, se realizaron por evaluación organoléptica.

3.5.2 Descripción del flujograma de operaciones

Se realizaron mediante las siguientes operaciones.

3.5.2.1 Recepción y pesado

Se realizó el control visual y se pesó la materia prima.

3.5.2.2 Selección y clasificación

La selección se realizó de acuerdo a la variedad huawaiana, la clasificación se llevó a cabo de acuerdo al estado de madurez y tamaño.

3.5.2.3 Lavado

Se realizó con agua corriente para disminuir la carga microbiana, restos de tierra u otras impurezas.

3.5.2.4 Pelado

Se realizó en forma manual, empleando un cuchillo de acero inoxidable para separar la parte comestible del fruto.

3.5.2.5 Cortado y picado

Se realizó de forma manual con cuchillos de acero inoxidable, con la finalidad de disminuir al tamaño mínimo la fruta y facilitar el pulpeado, el picado se realizó en cubos.

3.5.2.6 Pulpeado

Se realizó en la pulpeadora con tamiz número 4 mm obteniéndose la pulpa de piña, con la finalidad de reducir en partículas más pequeñas y separar la fibra de la fruta.

3.5.2.7 Mezcla

Se preparó teniendo en cuenta las diferentes concentración de pulpa/azúcar (50/50; 60/40) con pectina de 0,5 y 0,1%, y se adiciono el azúcar invertido.

3.5.2.8 Cocción

Se realizó a temperatura de ebullición con la finalidad de eliminar agua mediante evaporación y se adicionaron pectina y sorbato de potasio hasta conseguir la concentración de 65° Brix, con un pH de 3,5.

3.5.2.9 Envasado/ Enfriado

Se realizó en envases de vidrio de 1 Kg de capacidad y el enfriado a temperatura ambiente.

3.5.2.10 Almacenado

Se realizó a las temperaturas de 30, 40, 50 °C y T° Ambiente (27°C), en estufas, se evaluó reológicamente cada 5 días durante un mes.

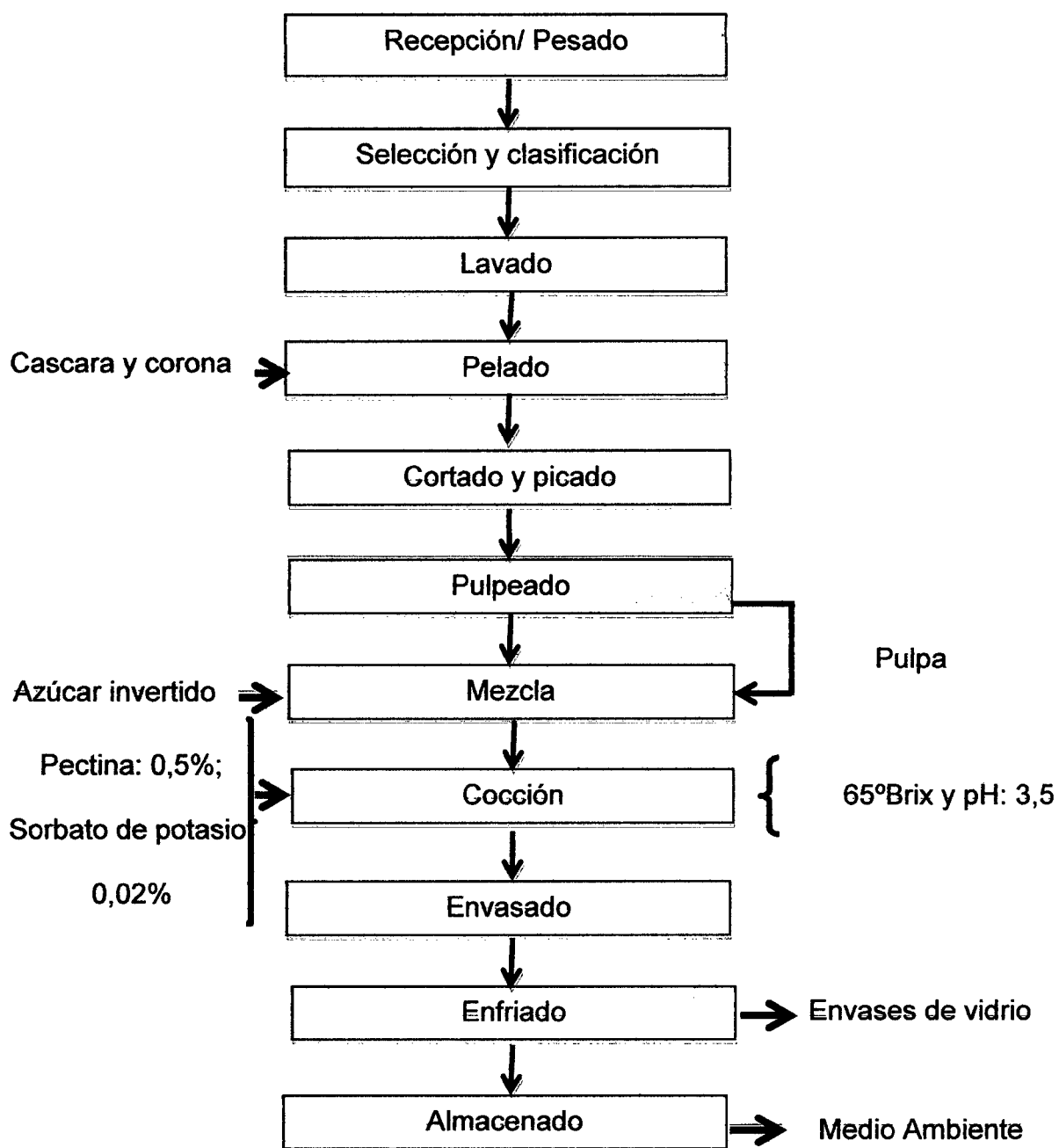


Figura 2. Flujograma para la elaboración de mermelada de piña.

3.5.3 Evaluación organoléptica

La evaluación organoléptica se realizó mediante pruebas de aceptabilidad con 30 panelistas semi entrenados usando la escala hedónica, y el análisis estadístico mediante pruebas no paramétricas, con Diseño Completo al Azar.

3.5.4 Evaluación en análisis proximal

Se realizaron análisis de humedad, análisis de ceniza, análisis de proteína, análisis de grasa y análisis de fibra cruda de la mermelada de piña.

3.5.5 Evaluación reológica

Se realizó con el Viscosímetro Brookfield DV-III. Ultra., y se determinó el índice de flujo (n), viscosidad aparente (m), para ello se usó el modelo matemático de la ley de la potencia.

3.5.6 Evaluación en el almacenamiento

La evaluación de la pérdida de calidad debido a la variación de la viscosidad durante el almacenamiento, se realizó por pruebas aceleradas almacenándose a 30°C, 40°C, 50°C y T° Ambiente(27°C), se realizó la evaluación reológica cada 5 días determinándose para cada temperatura el orden de velocidad de reacción y su correspondiente constante de reacción "k", los cuales luego fueron relacionados, entre las diferentes temperaturas por la ecuación de Arrhenius.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Composición químico proximal de la mermelada

La composición químico proximal de la mermelada de piña (*Ananás comosus*) se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Composición de la mermelada de piña, por cada 100 g de parte comestible

Componente	Unidad	Valor
Humedad	%	24,43 ± 0,703
Proteína	%	0,61 ± 0,445
Ceniza	%	1,67 ± 0,768
Grasa	%	0,25 ± 0,05
Fibra	%	0,59 ± 0,321
Carbohidrato (por diferencia)	%	73,04 ± 0,222
° Brix		65,00
pH		3,5

Los valores representan (promedio ±SEM) datos provienen del experimento (n=3) valores del mejor tratamiento de mermelada de piña.

La composición de la mermelada de piña mostrado en el cuadro 3, es ligeramente diferente al contenido nutricional de la mermelada de mora humedad

30%, cenizas 0,2%, proteína 0,5%, fibra 2,9%, grasa 0,32% y carbohidratos 66,3%, reportado por USCA (2011). El alto contenido de carbohidratos de 73,04%, característico de las mermeladas indica que la mermelada de piña tiene un valor energético lo pueden utilizar en su dieta diaria, especialmente para niños.

4.2 Determinación de parámetros para elaboración de mermelada de piña

Los diferentes tratamientos del porcentaje de pulpa, porcentaje de azúcar y porcentaje de pectina fueron sometidos a evaluación organoléptica por 30 panelistas semientrenados, el resultado fue analizado estadísticamente por la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis usando el Software Statgraphics Plus 5.1, el cual se muestra en el cuadro 4.

Cuadro 4. Resultado de análisis estadístico para el efecto de los tratamientos en los diferentes atributos sensoriales.

Atributos	Pvalor kruskal		Observaciones
	Pvalor DCA	Wallis	
Apariencia			
general	0,0000	0,0072	Hay diferencia significativa
Textura	0,0008	0,0030	Hay diferencia significativa
Color	0,0751	0,1024	No hay diferencia significativa
Olor	0,0252	0,0530	No hay diferencia significativa
Sabor	0,004	0,0043	Hay diferencia significativa

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=30).

Del cuadro 4, podemos observar que de acuerdo al P-valor $<0,05$, que hay diferencia significativa en los atributos de apariencia general, textura y sabor. Por lo que se realizó la prueba de comparación de medias por Tukey para los atributos los cuales se muestran en los cuadro 5, 6 y 7.

Cuadro 5. Comparación de medias de la evaluación sensorial del atributo apariencia general para los diferentes tratamientos de elaboración de mermelada de piña.

% pulpa	% Azúcar	% Pectina	Casos	Media
60	40	1,0	30	3,033 ^a
50	50	0,5	30	3,833 ^b
50	50	1,0	30	3,866 ^b
60	40	0,5	30	4,333 ^c

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=30) valores de con superíndices diferentes indican diferencia significativa ($p<0,05$), por Tukey.

Según la comparación de las medias de Tukey del cuadro 5, el mejor tratamiento es 60% de pulpa, 40% de azúcar con 0,5% pectina.

Se puede observar que los panelistas prefieren la mermelada con mayor contenido de pulpa.

Cuadro 6. Comparación de medias de la evaluación sensorial del atributo textura para los diferentes tratamientos de elaboración de mermelada de piña.

% pulpa	% Azúcar	% Pectina	Casos	Media
60	40	1,0	30	3,200 ^a
50	50	1,0	30	3,733 ^{ab}
50	50	0,5	30	3,733 ^{ab}
60	40	0,5	30	4,266 ^b

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=30) valores de con superíndices diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$), por Tukey

Cuadro 7. Comparación de medias de la evaluación sensorial del atributo sabor para los diferentes tratamientos de elaboración de mermelada de piña.

% pulpa	% Azúcar	% Pectina	Casos	Media
60	40	1,0	30	3,033 ^a
50	50	0,5	30	3,466 ^{ab}
50	50	1,0	30	3,666 ^{ab}
60	40	0,5	30	4,000 ^b

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=30) valores de con superíndices diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$), por Tukey

El análisis estadístico realizado de la evaluación organoléptica, para la apariencia general, textura y sabor de la mermelada de piña por Kruskal Wallis, para los diferentes tratamientos se muestra en el anexo, en los cuadros 15, 17 y 19. Se puede concluir que el P valor $<0,05$, lo que indica que hay diferencia significativa entre los tratamientos, lo cual es corroborado con el ANVA correspondiente, se muestra en el anexo, en los cuadros 16, 18 y 20.

4.3 Evaluación reológica de los tratamientos

Con las lecturas de viscosidad obtenidos a diferentes velocidades de rotación, se realizó los cálculos para determinar el esfuerzo de corte y la velocidad de corte para cada tratamiento, luego con estos valores se determinó el índice de flujo (n), índice de consistencia (m), utilizando el modelo matemático de la ley de potencia, los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Parámetros reológicos de los tratamientos de elaboración de mermelada de piña.

% pulpa	% Azúcar	% Pectina	Índice de flujo (n)	Índice de consistencia (m)
50	50	1	0,367	60,082
50	50	0,5	0,426	59,496
60	40	1	0,320	90,986
60	40	0,5	0,354	68,437

Fuente: Elaboración propia

El reograma correspondiente al mejor tratamiento, que se muestra en la Figura 3.

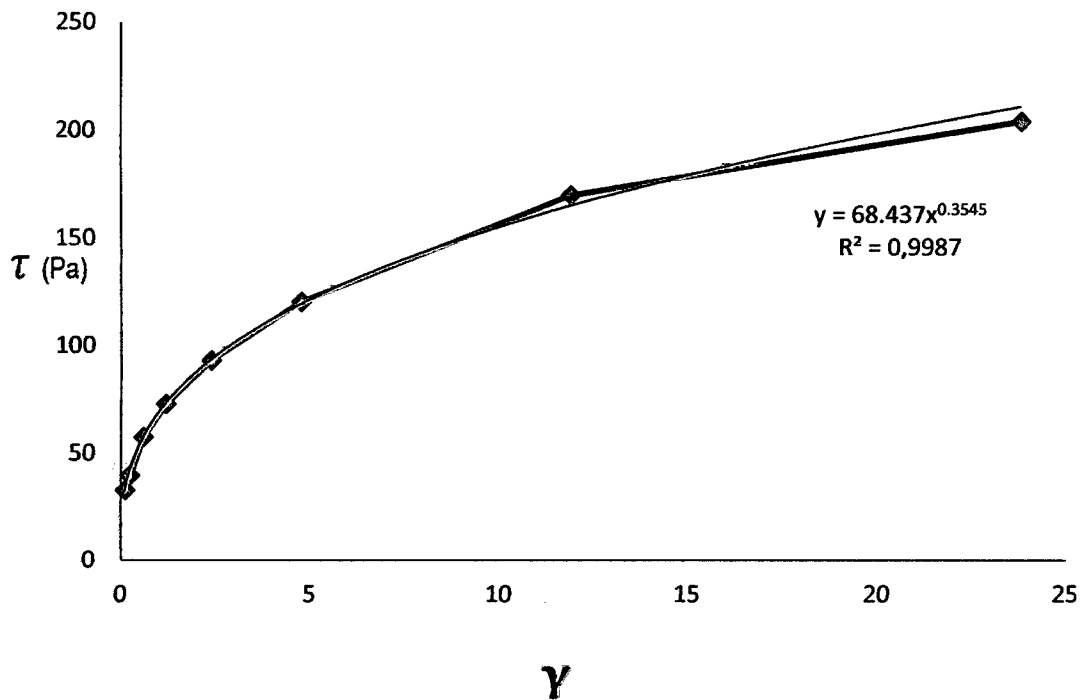


Figura 3. Reograma del mejor tratamiento de 60/40 de pulpa y azúcar con 0,5% pectina de mermelada de piña.

(STEFFE, 1996) para describir el comportamiento del fluido no newtoniano para el fluido Herschel- Bulkley la fórmula es:

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n + \tau_0$$

El índice reológico se encuentra entre los valores de 0,320 a 0,426, lo que indica un comportamiento Herschel- Bulkley (STEFFE, 1996).

El índice de consistencia varía de 59,496 Pa-sn a 90,986 Pa-sn; para los diferentes tratamientos; esta variación se debería a que la pectina adicionada tiene influencia en la viscosidad (TINEO, 2002).

MACEIRAS et al. (2007), estudiaron el comportamiento reológico de purés de frambuesa, fresa, durazno y ciruela, con intervalos de temperatura de 20 a 40°C, empleando los modelos reológicos de Herschel-Bulkley, las muestras se ajustan este modelo con un $R^2=0,988$, los valores encontrados para la mermelada de piña se encuentra entre estos valores de $R^2=0,98$.

IBARZ (2005) para mermelada de manzana reporta un índice de consistencia 22,90 Pa-sn y n de 0,145, y para miel de 15,39 Pa-sn y n de 0,989, los valores encontrados para la mermelada de piña se encuentra entre estos valores.

La comparación de medias del índice de consistencia con la prueba de comparación de Tukey considerando los diferentes tratamientos, en la mermelada de piña, se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Comparación de medias del índice de consistencia de los diferentes tratamientos.

% pulpa	% Azúcar	% Pectina	Casos	Media
50	50	0,5	4	59,441 ^a
50	50	1,0	4	59,985 ^a
60	40	0,5	4	68,396 ^b
60	40	1,0	4	90,949 ^c

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=4) valores de con superíndice diferentes indican diferencia significativa ($P < 0,05$), por tukey.

Del cuadro 9. Se puede notar que a mayor contenido de pectina el índice de consistencia es mayor de 50% de pulpa y 50% de azúcar a 0,5 y 1% de pectina son estadísticamente iguales y el 60% de pulpa y 40% de azúcar a 0,5 y 1% de pectina son diferentes.

4.4 Relación entre el índice de consistencia y la evaluación organoléptica

La relación entre los valores del índice de consistencia y la evaluación organoléptica para los diferentes tratamientos se muestran en el cuadro 10 y la figura 4.

Cuadro 10. Relación entre el índice de consistencia con la evaluación organoléptica

%	%	%	Índice de consistencia (m)	Evaluación organoléptica	
				Apariencia General	Textura
pulpa	Azúcar	Pectina			
60	40	1,0	90,986	3,033	3,200
50	50	0,5	59,496	3,833	3,730
50	50	1,0	60,082	3,866	3,730
60	40	0,5	68,437	4,333	4,266

Fuente: Elaboración propia

De la relación existente entre el índice de consistencia y la evaluación organoléptica, cuadro 10 y la figura 4, podemos encontrar que a medida que aumente el porcentaje de pectina el índice de consistencia aumenta, en cuanto a la apreciación sensorial de los atributos, apariencia general y textura, se puede observar que la apreciación aumenta con el índice de consistencia pero luego disminuye drásticamente. Esto se debería a que las características de la mermelada debe permite la untabilidad lo cual no es posible con un alto índice de consistencia lo que es apreciado por los panelistas.

La textura de los alimentos se halla principalmente determinada por el contenido en agua y grasa y por los tipos y proporciones relativas de algunas proteínas y carbohidratos estructurales (celulosa almidones y diversas pectinas). Los cambios en la textura están producidos por la pérdida de agua o grasa la formación o rotura de las emulsiones, la hidrólisis de los carbohidratos poliméricos y la coagulación o hidrólisis de las proteínas (RAMIREZ, 2006).

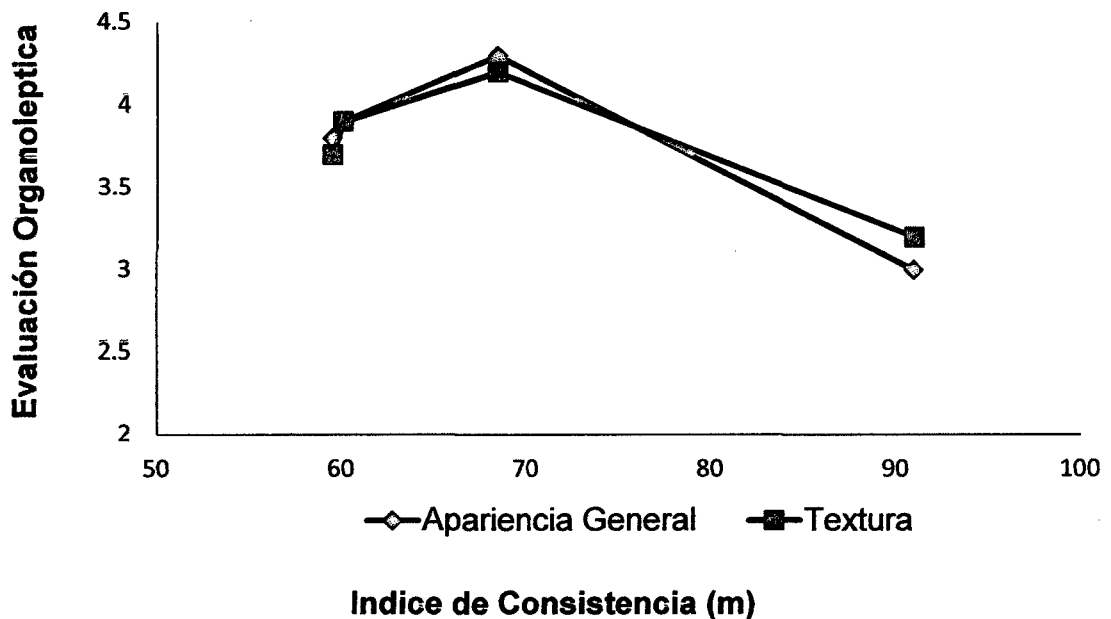


Figura 4. Relación entre el índice de consistencia con la evaluación organoléptica de los atributos apariencia general y textura.

4.5 Evaluación reológica durante el almacenamiento

La evaluación de pérdida de calidad debido a la variación de la viscosidad durante el almacenamiento se realizó por pruebas aceleradas almacenando a 30, 40, 50°C y T° ambiente y evaluando los parámetros reológicos a 5, 10, 15, 20, 25 y 30 días.

Los parámetros reológicos durante el almacenamiento se muestra en el cuadro 11 y los reogramas correspondientes en las figuras 5,6, 7 y 8.

Los resultados y cálculos para el ajuste al modelo de ley de potencia se muestran en el anexo del cuadro 21 al 44.

Cuadro 11. Evaluación reológica durante el almacenamiento de mermelada de piña.

Temperaturas	30°C		40°C		50°C		27°C	
	n	m	n	m	n	m	n	m
Días								
5	0,181	108,03	0,290	75,048	0,351	80,798	0,223	109,08
10	0,316	88,976	0,341	60,639	0,370	70,831	0,289	91,272
15	0,377	70,839	0,410	49,286	0,407	58,550	0,325	64,645
20	0,489	54,580	0,284	37,714	0,319	55,596	0,348	48,902
25	0,390	40,659	0,370	29,431	0,359	44,648	0,207	30,582
30	0,557	27,811	0,436	20,424	0,481	38,615	0,430	17,761

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro 11 se observa que desde el inicio y durante el almacenamiento a diferentes temperaturas, la mermelada de piña tiene un comportamiento Herschel –Bulkley, la viscosidad disminuye en función de la velocidad de rotación y la temperatura y también que el índice de consistencia disminuye durante el almacenamiento, esto se debería al proceso de deterioro de las sustancias pépticas, la disminución de la viscosidad es mayor a mayor

temperatura, esto se debería a que la temperatura acelera el proceso de deterioro (STEFFE,1996).

Durante el almacenamiento (30 días) expuesto a temperaturas de 30, 40°C, 50° y T° Ambiente, las muestras presentaron una coloración marrón oscura lo que indica que la temperatura acelero el proceso de deterioro de la mermelada, la coloración se debería al pardeamiento no enzimático debido al contenido de azúcares (RAUCH, 1950).

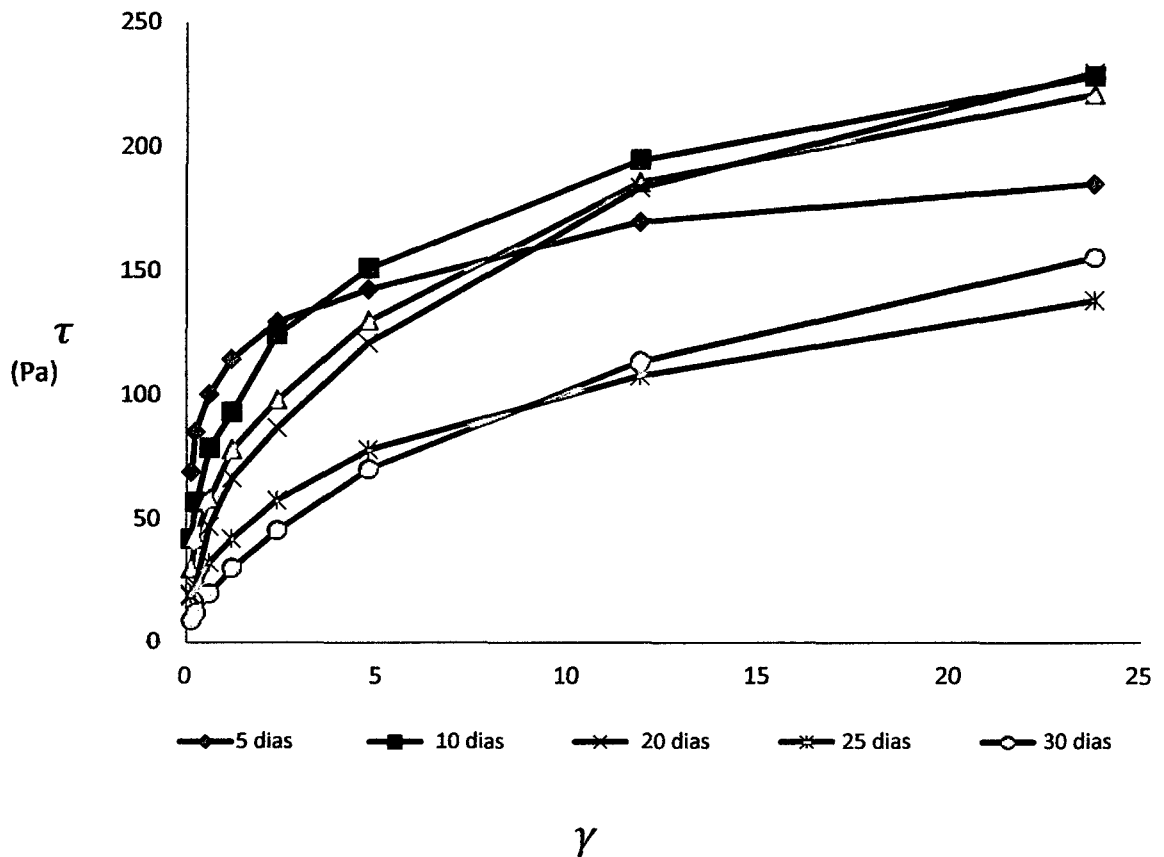


Figura 5. Reograma de mermelada de piña almacenado a 30°C a diferentes tiempos de almacenamiento.

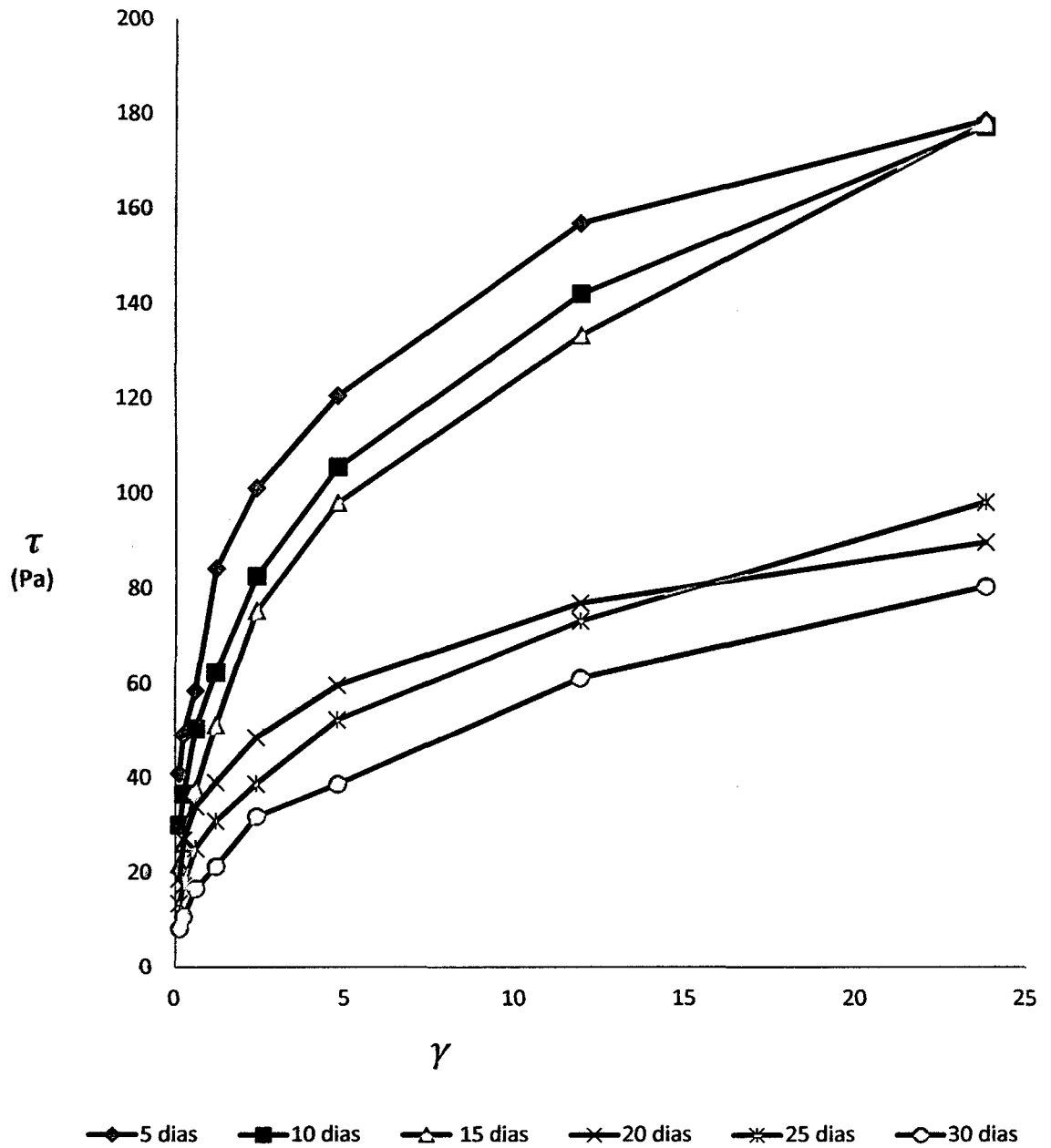


Figura 6. Reograma de mermelada de piña almacenado a 40°C a diferentes tiempos de almacenamiento.

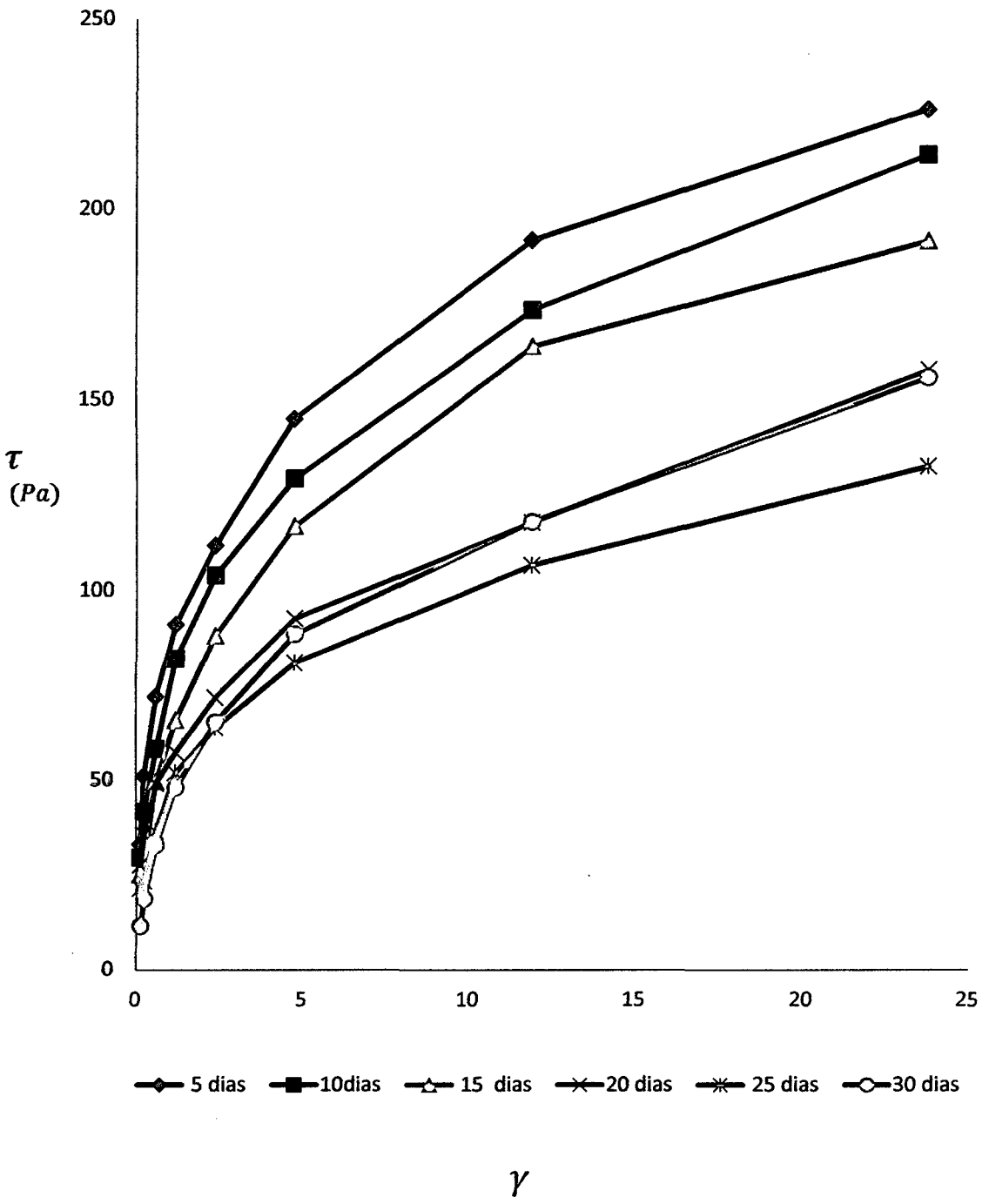


Figura 7. Reograma de mermelada de piña almacenado a 50°C a diferentes tiempos de almacenamiento.

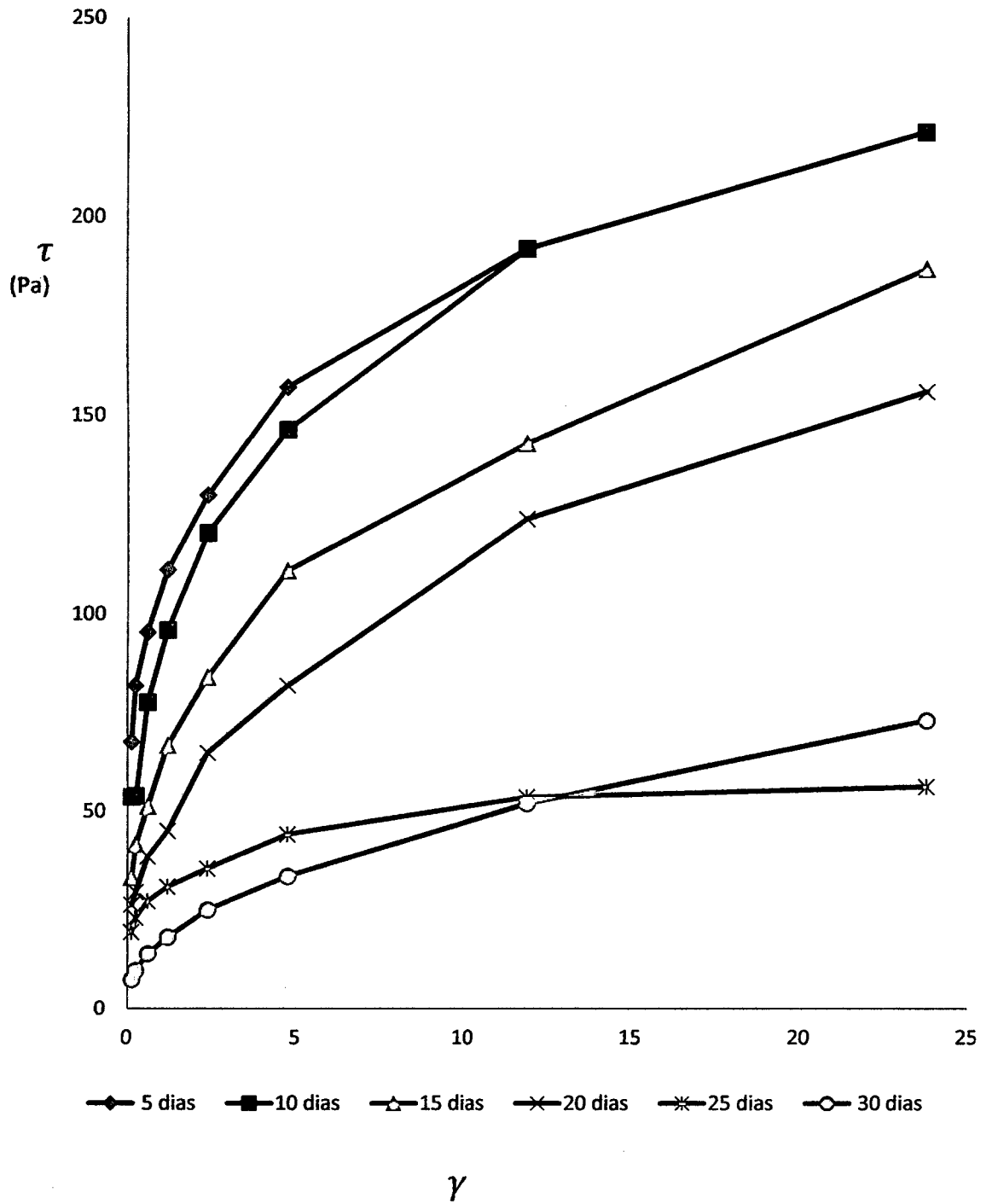


Figura 8. Reograma de mermelada de piña almacenado a temperatura ambiente de 27 °C a diferentes tiempos de almacenamiento.

Por otro lado, para la mermelada de Albaricoque con 60,4°Brix reportado por (IBARZ y BARBOSA, 2005) tiene índice de consistencia de 10,42 Pa – Sⁿ con índice reológico de 0,63, este valor está por debajo de lo obtenido en la mermelada de piña, esto se debería al efecto de la concentración de sólidos.

VILLARÁN et al. (1997), al estudiar el comportamiento reológico de mermelada comercial de albaricoque elaborada con sacarosa y de mermelada de arandino y de escaramujo preparados con fructosa para uso dietético, con temperaturas de 5 a 65°C, el comportamiento de flujo de las muestra a distintas temperaturas se ajustan al modelo Herschel-Bulkley, las temperaturas que se realizaron para la mermelada de piña se encuentran en este rango indicando que es un modelo Herschel-Bulkley.

GARZA (1998) menciona que la mayoría de fluidos alimentarios son no-newtonianos presentando un comportamiento pseudoplástico, como por ejemplo, los jugos concentrados, purés, pulpa de frutas y vegetales entre otros, lo que también fue indicado por IBARZ (2005) para puré de frutas y vegetales.

Otra relación muy utilizada es la propuesta por Herschel-Bulkley ($R^2 > 0,9$) cuya expresión supone ampliar la ley de la potencia con un término correspondiente al umbral de fluencia SHERMAN (1970).

4.6 Determinación del orden de reacción.

El índice consistencia considerado como parámetro de calidad, fue ajustado a los modelos de cinética de pérdida de calidad de orden cero y primer orden para las diferentes temperaturas, se empleó el método de integración,

planteado por (LABUZA, 2000). Este método consiste en evaluar los valores de

n (0 y 1,0) en la ecuación: $\frac{dA}{dt} = K.A^n$, con los valores experimentales regresión y escoger el modelo que mejor se ajuste en base al coeficiente de correlación (r^2).

Para el ajuste a orden cero, se elaboró el cuadro 12, luego regresionado al modelo de orden cero en la figura 9.

Cuadro 12. Índice de consistencia durante el almacenamiento a diferentes temperaturas, ajustado al modelo de cinética de orden cero

Orden Cero				
Días	m(30°C)	m(40°C)	m(50°C)	m(TA27°C)
5	108,03	75,048	80,798	109,08
10	88,976	60,639	70,831	91,272
15	70,839	49,286	58,550	64,645
20	54,58	37,714	55,596	48,902
25	40,659	29,431	44,648	30,582
30	27,811	20,424	38,615	17,761

Fuente: Elaboración propia

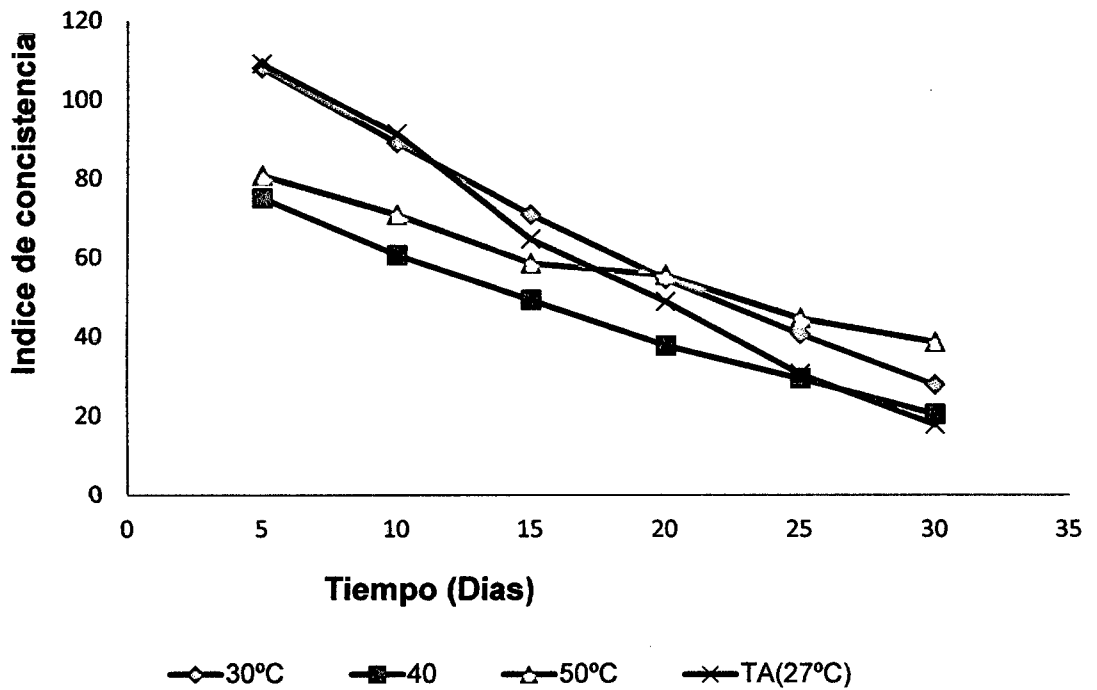


Figura 9. Variación de índice de consistencia con el tiempo de almacenamiento de la mermelada de piña, ajustada a una cinética de orden cero.

De la figura 9, se obtiene las constantes de velocidad de reacción de orden cero a diferentes temperaturas: $K_{30^{\circ}\text{C}}=3,2132$ pa-s/días; $K_{40^{\circ}\text{C}}=2,1618$ pa-s/días; $K_{50^{\circ}\text{C}}=1,671$ pa-s/días y $K_{T^{\circ}\text{a } 27^{\circ}\text{C}}= 3,7395$ pa-s/días.

Para el ajuste a la cinética de primer orden se elaboró el cuadro 13, la regresión correspondiente ajustando a la cinética de primer orden se muestra en la figura 10.

Cuadro 13. Logaritmo del índice de consistencia (Ln m) a diferentes temperaturas.

Días	Ln m(30°C)	Ln m(40°C)	Ln m(50°C)	Ln mTA (27°C)
5	4,682	4,018	4,391	4,692
10	4,488	4,000	4,260	4,513
15	4,260	3,898	4,069	4,168
20	3,999	3,630	4,018	3,889
25	3,705	3,382	3,798	3,420
30	3,325	3,017	3,653	2,877

Fuente: Elaboración propia

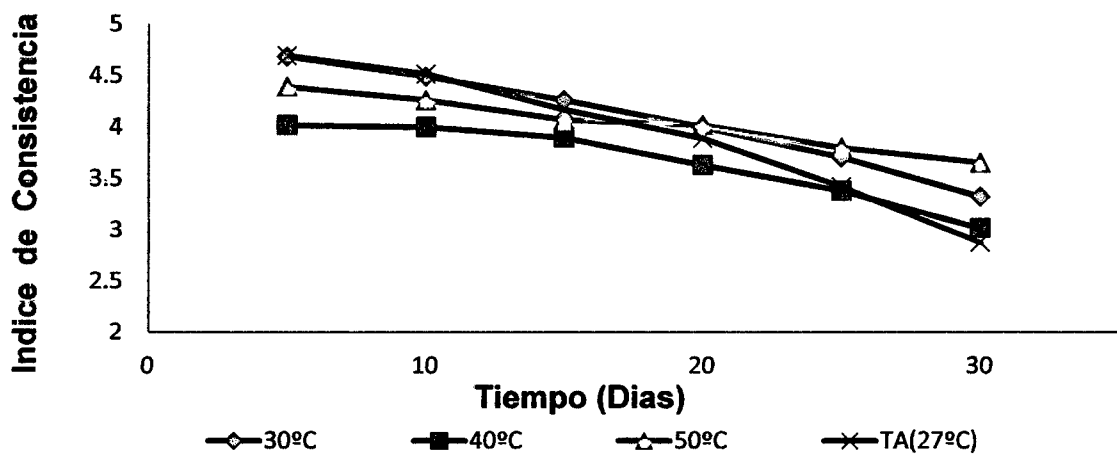


Figura 10. Variación del Ln del índice de consistencia con el tiempo de almacenamiento de la mermelada de piña, ajustada a una cinética de primer orden.

De la figura 10 se obtiene las constante de velocidad de reacción de primer orden a diferentes temperaturas, $K_{30^{\circ}\text{C}}=0,0537\text{pa-s/días}$; $K_{40^{\circ}\text{C}}=0,0407\text{ pa-s/días}$; $K_{50^{\circ}\text{C}}=0,0293\text{ pa-s/días}$ y $KT^{\circ}\text{a } 27^{\circ}\text{C}=0,0722\text{ pa-s/días}$. De acuerdo al valor del coeficiente de correlación (R^2) el que mejor se ajusta a los datos experimentales es la cinética a orden cero para las diferentes temperaturas.

4.7 Determinación de la Energía de Activación.

Los datos experimentales de constante de velocidad de reacción (k) de la cinética orden cero y primer orden a diferentes temperaturas se muestran en el cuadro 14, el ajuste por regresión al modelo de Arrhenius, se muestra en las figuras 11 y 12. Con los valores de regresión al modelo de Arrhenius se determinó la energía de activación E_a .

Cuadro 14. Constante de velocidad de reacción de la variación del índice de consistencia de mermelada de piña.

Temp($^{\circ}\text{C}$)	Orden Cero				Orden Uno	
	$^{\circ}\text{K}$	$1/^{\circ}\text{K}$	K	R^2	K	R^2
27	300	0,003333	3,7395	0,9899	0,0722	0,9710
30	303	0,003300	3,2132	0,9939	0,0537	0,9863
40	313	0,003194	2,1618	0,9905	0,0407	0,9163
50	323	0,003095	1,6710	0,9817	0,0293	0,9863

Fuente: Elaboración Propia

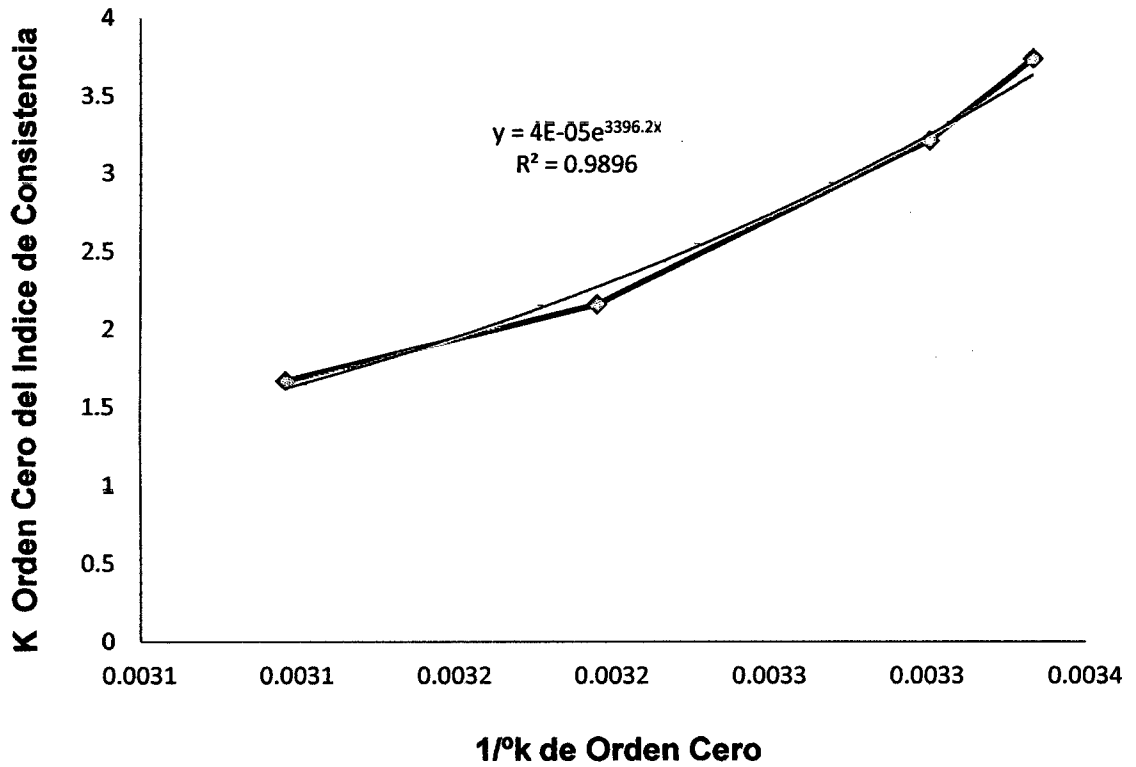


Figura 11. Relación de coeficiente de velocidad de reacción con la temperatura, ajustada a la ecuación de Arrhenius.

Con la ecuación de la figura 11, se determinó la Energía de activación:

$$K = K_0 \cdot e^{E_a/RT}$$

$$K = 4(10^{-5})e^{3396,2/T}$$

$$\frac{E_a}{R} = \frac{E_a}{1,98717 \text{ cal. mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 3396,2$$

$$E_a = 6,748 \text{ Kcal/mol}$$

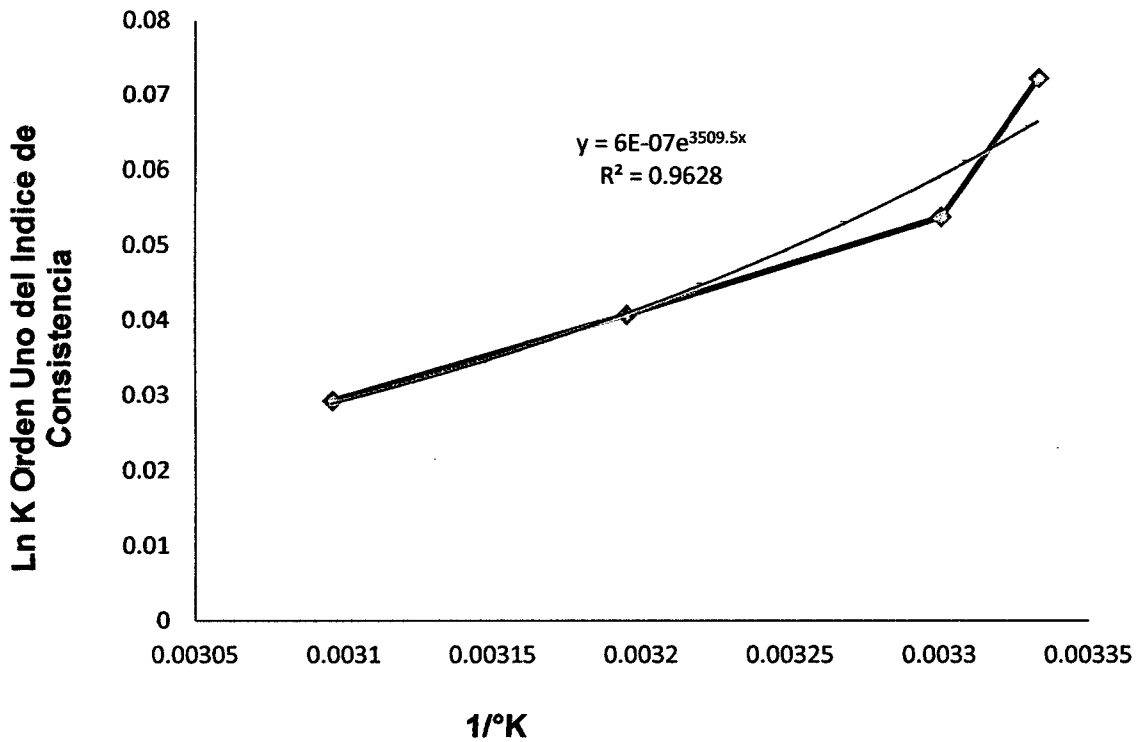


Figura 12. Variación del coeficiente de velocidad de reacción de primer orden, con la inversa de la temperatura ajustada a la ecuación de Arrhenius.

Con la ecuación de la figura 12, se determinó la Energía de activación:

$$K = K_0 \cdot e^{E_a/RT}$$

$$K = 6(10^{-07})e^{3509,5/T}$$

$$\frac{E_a}{R} = \frac{E_a}{1,98717 \text{ cal. mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 3509,5$$

$$E_a = 6,973 \text{ Kcal/mol}$$

El ajuste de las constantes de velocidad de reacción para Orden cero y Primer orden a diferentes temperaturas, al modelo de Arrhenius, indican que el mejor ajuste se obtiene en el orden cero con $R^2=0,9896$, indicando además que existe influencia de la temperatura en el deterioro de la viscosidad durante el almacenamiento.

Con la ecuación de regresión de la cinética a orden cero se obtiene la energía de activación. $E_a=6,748$ Kcal/mol.

Los datos de índice de consistencia que es la mejor forma de indicar la viscosidad para los fluidos no Newtonianos (STEFFE, 1996), se ajustan adecuadamente a la cinética de deterioro de orden cero y primer orden con coeficiente de correlación mayor a $R^2>0,97$.

V. CONCLUSIONES

- La mermelada de piña tiene una humedad de 24,43 %, proteína del 0,61 % y hay un alto contenido de carbohidratos con 73,04%, indicando un aumento energético.
- Los parámetros adecuados para la elaboración de mermelada de piña desde el punto de vista sensorial es 60 % de pulpa, 40% de azúcar y 0,5% de pectina.
- Todos los tratamientos tienen comportamiento Herschel- bulkley con índice reológico (n) de 0,3207 a 0,4262 e índice de consistencia (m) entre 59,831 a 90,986. El mejor tratamiento sensorial tiene los siguientes parámetros reológicos $n = 0,3545$ y $m = 68,437$.
- Los valores del índice de consistencia durante el almacenamiento a diferentes temperaturas se ajustan mejor a orden cero con $R^2 > 0,98$.
- El valor del coeficiente de velocidad de reacción (K) de la cinética de orden cero a diferentes temperaturas se ajusta al modelo de Arrhenius con $R^2 = 0,9896$, obteniendo la energía de activación $E_a = 6,748$ Kcal/mol.

VI. RECOMENDACIONES

Se plantean las siguientes recomendaciones:

- Usar los parámetros, 60 % de pulpa, 40% de azúcar y 0,5% de pectina para la elaboración de mermelada de piña.
- Evaluar la variación de la viscosidad con la concentración de sólidos solubles.
- Realizar estudios de diseño de maquinaria para la producción a gran escala de mermelada de piña.
- Realizar la simulación de pérdida de viscosidad en mermelada, como índice de calidad durante el almacenamiento.

VII. ABSTRACT

Elaboration and Evaluation of Rheologic Pineapple Jam (*Ananás comosus*)

The present work of investigation developed in the laboratories of Minimum Processing of the Pilot Plant, Sensory Analysis and Analysis of Foods of the FIIA- UNAS. The aim of the present work is the influence that exerts the temperature in the parameters reológicos during the storage of the jam of pineapple (*Ananás comosus*). It elaborated the jam of pineapple with different percentages of pulp /sugar and pectin, and the best treatment determined by evaluation organoléptica, the result was analysed estadísticamente using the Software Statgraphics Plus 5.1. It stored the jam of pineapple in stoves by means of proofs accelerated to 27 (T°Environment), 30, 40 and 50 It evaluated the parameters reológicos cada 5 days with un viscosímetro Brookfield DV-III. Ultra, determining the order of reaction, Constant of speed of reaction and Energy of activation. The results obtained del mejor treatment of jam of pineapple is 60% pulp, 40% sugar and 0,5% pectin, existing a significant effect in the three attributes of general appearance, texture and flavour, with a Pvalor < 0,05All the treatments has an index reológico of 0,320 to 0,426 and index of consistency between 59,831 to 90,986, having the best treatment with a n= 0,3545 and m =

68, this indicates that it is a behaviour Herschel- Bulkley. The values of index of consistency during the storage to different temperatures ajustan a an equation of order zero with $R^2=0,9896$. The value of the coefficient of speed of reaction (k) of the kinetical of order zero and one to different temperature, the one who better adjusts to the model of Arrhenius es the order zero with $R^2=0,9896$, With an energy of activation $E_a=6,748$ kcal/mol. la composition of the jam of pineapple is of 73,04% of carbohydrates, what indicates that the jam of pineapple has an energetic value.

Key words: Jam, Herschel-Bulkley, Order zero and one, Speed of reaction and Energy of Activation.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C.1995. Official Methods of Analisis of the Association of Official Agricultural. Chemistry. Washington. U.S.A.

A.O.A.C.1997. Official Methods of Analisis of the Association of Official Agricultural. Chemistry. Washington. U.S.A.

CARMONA R, A. 2008.Reologia de los alimentos. Ediciones UNAS. Tingo María.123p.

BARONA S, 2007. Universidad del Valle Tecnología en Alimentos. Mermeladas. Edit. Manejo de sólidos y fluidos, Cali- Valle- Colombia.

ESTRADA, FONNEGRA, y MARTINEZ, J. (2010). Plan de Exportación de Piña con destino a Alemania. Facultad de Administración. Universidad del Rosario. Bogotá. p 101

FLORES, S. 2007.Cultivos de frutales nativos amazónicos: Manual para el extensionista. Impreso Mirigraf S.R.L. Lima – Perú.

GARCIA D. y PAREDES G. 2001. Proceso tecnológico para la elaboración de mermelada de guayaba (*Psidium guava*). Universidad central de Venezuela facultad de agronomía

- GARZA GARZA, S, 1998. Caracterización reológica y microbiológica, y cinéticas de deterioro en cremogenado de Melocotón ,Publicacions Universitat de Lleida168p.
- IBARZ, A. Y BARBOSA C, G. 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Ediciones mundi-prensa. Madrid. Barcelona. España.
- IBARZ, A. 2006. Aspectos reológicos de zumo y purés de fruta. Revista de tecnología e higiene de los alimentos.370: 81 – 91.
- INTI, 2009. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Mermeladas dulces y confituras, elaboración de mermelada de durazno.
- MANCHENO A, 2011. Desarrollo de un prototipo de mermelada light de Frutilla ecológica, utilizando sucralosa (splenda como edulcorante no calórico).Riobamba- Ecuador.
- MACEIRAS, R. Effects of temperature and concentration on carboxymethyl cellulose with sucrose rheology. *Journal of Food Engineering*, 2005, 71, 419.
- MEYER, M. 1996. Elaboración de frutas y hortalizas. 2da edición. México. Editorial Trillas (1996).
- MOLINA, S. 2010. Estudio para el mejoramiento del proceso de producción de mermelada de piña en una empresa agroindustrial, a través de alternativas de producción más limpia. Quito.

- MORENO, ESTRADA, FONNEGRA, y MARTINEZ, J. (2010). Plan de Exportación de Piña con destino a Alemania. Facultad de Administración. Universidad del Rosario. Bogotá. p 101
- LABUZA Y SCHMILD. 1985. Accelerated Shelf-Life testing of Food J. Food Technology. 57 – 64 p.
- LABUZA, T. 2000a. Accelerated shelf life testing of foods. Food Technology. 57p.
- OIRSA. 2005. Manual Técnico de Fitosanidad en Piña. El Salvador.14 p.
- RAMIREZ NAVAS, J. 2006. Fundamentos de reología de alimentos JSR. e-books Cali,Valle, Colombia.
- RAO, M. 1986. Rheological Properties of fluid Foods. En.“ Engineering Properties of Foods”. Eds M.A. RAO Y S.S.H. RIZVI.,1- 47p.
- RAUCH, G.1950.Fabricación de mermelada. Editorial acribia - Zaragoza (España).
- REGALADO M. Y NORIEGA R. (2008). Comportamiento reológico de un fluido. Instituto de Industrias, Universidad del Mar, Ciudad Universitaria, campus Puerto Ángel, Oaxaca, México.
- REINA C, E. 1994. Manejo postcosecha y evaluación de la calidad para la piña (*Ananás comosus*) que se comercializa en la ciudad de Neiva. Universidad sur colombiana. Facultad de Ingeniería, Neiva.

SMITH, 2007. *Jaleas de Frutas*. Bogota, Terranova. Pp.68 -70.

STEFFE, J.F. 1996. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. 418 p.

SHERMAN, P.1970.*Industrial Rheology*. Academic Press. New York

TINEO CANCHARI, JUAN I. 2002. *Evaluación y caracterización del banco nacional de germoplasma de tuna*. FCA. de la UNSCH.

USCA TOBON (2011), "Evaluación del Potencial Nutritivo de Mermelada Elaborada a base de Remolacha (*Beta vulgaris*)".

UTEPI, 2006. *Piña Estudio Agroindustrial en el Ecuador. Competitividad de la Cadena de Valor y Perspectivas de Mercado*. Editorial MICIP- ONUDI, Quito, Ecuador. p 15 -17.

VILLARÁN, M.;. 1997. Influence of temperature on rheologica. *Food Science and Technology International* 3: 13-19.

IX. ANEXO

Cuadro 15. Análisis estadístico de la evaluación organoléptica de la apariencia general de la mermelada de piña por Kruskal-Wallis para los diferentes tratamientos.

Pulpa Azúcar	% Pectina	Cantidad	Rank Promedio
50/50	1	30	62,9
50/50	0,5	30	62,616
60/40	1	30	38,4
60/40	0,5	30	78,083

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=30) valores con superíndices diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$), por kruskal – Wallis. Estadístico de prueba = 21,784 valor-P=0.0

Cuadro 16. Análisis de varianza de la evaluación organoléptica de apariencia general para los diferentes tratamientos.

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	Fc	P-valor
Tratamiento 0,0000	26,2	3	8,733	9,27	
Error	109,267	116	0,941		
Total	135,467	119			

Cuadro 17. Análisis estadístico de la evaluación organoléptica de textura por Kruskal-Wallis para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Pulpa Azúcar	% Pectina	Cantidad	Rank Promedio
T1	50/50	1	30	58,983
T2	50/50	0,5	30	59,333
T3	60/40	1	30	45,9
T4	60/40	0,5	30	77,783

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=30) valores con superíndices diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$), por kruskal - Wallis. Estadístico = 13.9275 Valor-P = 0.00300535

Cuadro 18. Análisis de varianza de la evaluación organoléptica de textura para los diferentes tratamientos.

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	Fc	P- valor
Tratamiento	17,066	3	5,688	5,98	0,0008
Error	110,4	116	0,951		
Total	127,467	119			

Cuadro 19. Análisis estadístico de la evaluación organoléptica de sabor por Kruskal-Wallis para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Pulpa Azúcar	% Pectina	Cantidad	Rank Promedio
T1	50/50	1	30	65,166
T2	50/50	0,5	30	58,1
T3	60/40	1	30	44,183
T4	60/40	0,5	30	74,55

Los valores representan el promedio, los datos provienen del experimento (n=30) valores con superíndices diferentes indican diferencia significativa ($p < 0,05$), por kruskal - Wallis. Estadístico = 13.1429 Valor-P = 0.00433738.

Cuadro 20. Análisis de varianza de la evaluación organoléptica de sabor para los diferentes tratamientos.

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	Fc	P- valor
Tratamiento	14,691	3	4,897	4,69	0,0040
Error	121,1	116	1,043		
Total	135,792	119			

Cuadro 21. Lecturas promedio a 27°C/ 5 Días.

RPM	5 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	568195	568,195	0,119	67,615205
1	344125.25	344,12525	0,238	81,9018095
2,5	160392.75	160,39275	0,595	95,4336863
5	93392.75	93,39275	1,19	111,137373
10	54562	54,562	2,38	129,85756
20	32988.5	32,9885	4,76	157,02526
50	16113.25	16,11325	11,9	191,747675
100	9284.25	9,28425	23,8	220,96515

Cuadro 22. Lecturas promedio a 27°C/ 10 Días.

RPM	10 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	450695	450,695	0,119	53,632705
1	226625.25	226,62525	0,238	53,9368095
2,5	130392.75	130,39275	0,595	77,5836863
5	80642.75	80,64275	1,19	95,9648725
10	50562	50,562	2,38	120,33756
20	30738.5	30,7385	4,76	146,31526
50	16113.25	16,11325	11,9	191,747675
100	9284.25	9,28425	23,8	220,96515

Cuadro 23. Lecturas promedio a 27°C/ 15 Días.

RPM	15 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	280500	280,5	0,119	33,3795
1	175250	175,25	0,238	41,7095
2,5	86300	86,3	0,595	51,3485
5	56050	56,05	1,19	66,6995
10	35300	35,3	2,38	84,014
20	23300	23,3	4,76	110,908
50	12000	12	11,9	142,8
100	7842.5	7,8425	23,8	186,6515

Cuadro 24. Lecturas promedio a 27°C/ 20 Días.

RPM	20 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	222055	222,055	0,119	26,424545
1	124737,5	124,7375	0,238	29,687525
2,5	64793,25	64,79325	0,595	38,5519838
5	37904,5	37,9045	1,19	45,106355
10	27248,75	27,24875	2,38	64,852025
20	17201,75	17,20175	4,76	81,88033
50	10408,75	10,40875	11,9	123,864125
100	6546,5	6,5465	23,8	155,8067

Cuadro 25. Lecturas promedio a 27°C/ 25 Días.

RPM	25 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	164000	164	0,119	19,516
1	97275	97,275	0,238	23,15145
2,5	45950	45,95	0,595	27,34025
5	26025	26,025	1,19	30,96975
10	14950	14,95	2,38	35,581
20	9287,5	9,2875	4,76	44,2085
50	4505	4,505	11,9	53,6095
100	2362,5	2,3625	23,8	56,2275

Cuadro 26. Lecturas promedio a 27°C/ 30 Días.

RPM	30 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	62000	62	0,119	7,378
1	41000	41	0,238	9,758
2,5	23600	23,6	0,595	14,042
5	15350	15,35	1,19	18,2665
10	10575	10,575	2,38	25,1685
20	7075	7,075	4,76	33,677
50	4369,75	4,36975	11,9	52,000025
100	3067,5	3,0675	23,8	73,0065

Cuadro 27.Lecturas promedio a 30°C/ 5 Días.

RPM	5 Días cp	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	581075	581,075	0,119	69,147925
1	358275	358,275	0,238	85,26945
2,5	168730	168,73	0,595	100,39435
5	96238,89	96,23889	1,19	114,524279
10	54462,5	54,4625	2,38	129,62075
20	29975	29,975	4,76	142,681
50	14285	14,285	11,9	169,9915
100	7785	7,785	23,8	185,283

Cuadro 28.Lecturas promedio a 30°C/ 10 Días.

RPM	10 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	354000	354	0,119	42,126
1	239500	239,5	0,238	57,001
2,5	132450	132,45	0,595	78,80775
5	78300	78,3	1,19	93,177
10	52300	52,3	2,38	124,474
20	31750	31,75	4,76	151,13
50	16374,75	16,37475	11,9	194,859525
100	9600	9,6	23,8	228,48

Cuadro 29. Lecturas promedio a 30°C/ 15 Días.

RPM	15 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	253000	253	0,119	30,107
1	177750	177,75	0,238	42,3045
2,5	98050	98,05	0,595	58,33975
5	65740	65,74	1,19	78,2306
10	41250	41,25	2,38	98,175
20	27325	27,325	4,76	130,067
50	15622	15,622	11,9	185,9018
100	9295,25	9,29525	23,8	221,22695

Cuadro 30. Lecturas promedio a 30°C/ 20 Días.

RPM	20 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	156500	156,5	0,119	18,6235
1	97250	97,25	0,238	23,1455
2,5	79250	79,25	0,595	47,15375
5	56100	56,1	1,19	66,759
10	36537,5	36,5375	2,38	86,95925
20	25450	25,45	4,76	121,142
50	15440	15,44	11,9	183,736
100	9657,1875	9,6571875	23,8	229,841063

Cuadro 31. Lecturas promedio a 30°C/ 25 Días.

RPM	25 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	164000	164	0,119	19,516
1	88775	88,775	0,238	21,12845
2,5	54400	54,4	0,595	32,368
5	35475	35,475	1,19	42,21525
10	24275	24,275	2,38	57,7745
20	16412,5	16,4125	4,76	78,1235
50	9065	9,065	11,9	107,8735
100	5810	5,81	23,8	138,278

Cuadro 32. Lecturas promedio a 30°C/ 30 Días.

RPM	30 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	75000	75	0,119	8,925
1	50500	50,5	0,238	12,019
2,5	33300	33,3	0,595	19,8135
5	25375	25,375	1,19	30,19625
10	19175	19,175	2,38	45,6365
20	14787,5	14,7875	4,76	70,3885
50	9550	9,55	11,9	113,645
100	6537,5	6,5375	23,8	155,5925

Cuadro 33.Lecturas promedio a 40°C/ 5 Días.

RPM	5 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	344000	344	0,119	40,936
1	206250	206,25	0,238	49,0875
2,5	98350	98,35	0,595	58,51825
5	70700	70,7	1,19	84,133
10	42475	42,475	2,38	101,0905
20	25325	25,325	4,76	120,547
50	13182,5	13,1825	11,9	156,87175
100	7505	7,505	23,8	178,619

Cuadro 34.Lecturas promedio a 40°C/ 10 Días.

RPM	10 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	252500	252,5	0,119	30,0475
1	153750	153,75	0,238	36,5925
2,5	84700	84,7	0,595	50,3965
5	52350	52,35	1,19	62,2965
10	34700	34,7	2,38	82,586
20	22162,5	22,1625	4,76	105,4935
50	11930	11,93	11,9	141,967
100	7450	7,45	23,8	177,31

Cuadro 35. Lecturas promedio a 40°C/ 15 Días.

RPM	15 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	183250	183,25	0,119	21,80675
1	110000	110	0,238	26,18
2,5	63100	63,1	0,595	37,5445
5	43000	43	1,19	51,17
10	31625	31,625	2,38	75,2675
20	20587,5	20,5875	4,76	97,9965
50	11200	11,2	11,9	133,28
100	7482,5	7,4825	23,8	178,0835

Cuadro 36. Lecturas promedio a 40°C/ 20 Días.

RPM	20 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	157500	157,5	0,119	18,7425
1	113250	113,25	0,238	26,9535
2,5	57100	57,1	0,595	33,9745
5	32825	32,825	1,19	39,06175
10	20400	20,4	2,38	48,552
20	12525	12,525	4,76	59,619
50	6463,5	6,4635	11,9	76,91565
100	3772,5	3,7725	23,8	89,7855

Cuadro 37. Lecturas promedio a 40°C/ 25 Días.

RPM	25 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	113625	113,625	0,119	13,521375
1	72500	72,5	0,238	17,255
2,5	42200	42,2	0,595	25,109
5	25925	25,925	1,19	30,85075
10	16275	16,275	2,38	38,7345
20	10987,5	10,9875	4,76	52,3005
50	6147,5	6,1475	11,9	73,15525
100	4127,5	4,1275	23,8	98,2345

Cuadro 38. Lecturas promedio a 40°C/ 30 Días.

RPM	30 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	68500	68,5	0,119	8,1515
1	44750	44,75	0,238	10,6505
2,5	27900	27,9	0,595	16,6005
5	17900	17,9	1,19	21,301
10	13375	13,375	2,38	31,8325
20	8125	8,125	4,76	38,675
50	5140	5,14	11,9	61,166
100	3382,5	3,3825	23,8	80,5035

Cuadro 39.Lecturas promedio a 50°C/ 5 Días.

RPM	5 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	279250	279,25	0,119	33,23075
1	214833,333	214,833333	0,238	51,1303331
2,5	121200	121,2	0,595	72,114
5	76527,7775	76,5277775	1,19	91,0680552
10	46950	46,95	2,38	111,741
20	30462,5	30,4625	4,76	145,0015
50	16115	16,115	11,9	191,7685
100	9510	9,51	23,8	226,338

Cuadro 40.Lecturas promedio a 50°C/ 10 Días.

RPM	10 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	249500	249,5	0,119	29,6905
1	175500	175,5	0,238	41,769
2,5	97997,5	97,9975	0,595	58,3085125
5	69000	69	1,19	82,11
10	43675	43,675	2,38	103,9465
20	27162,5	27,1625	4,76	129,2935
50	14580	14,58	11,9	173,502
100	9002,5	9,0025	23,8	214,2595

Cuadro 41. Lecturas promedio a 50°C/ 15 Días.

RPM	15 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	211500,25	211,50025	0,119	25,1685298
1	118750	118,75	0,238	28,2625
2,5	83383,3325	83,3833325	0,595	49,6130828
5	55400	55,4	1,19	65,926
10	37025	37,025	2,38	88,1195
20	24537,5	24,5375	4,76	116,7985
50	13775	13,775	11,9	163,9225
100	8055	8,055	23,8	191,709

Cuadro 42. Lecturas promedio a 50°C/ 20 Días.

RPM	20 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	232533,333	232,533333	0,119	27,6714666
1	149585	149,585	0,238	35,60123
2,5	82700	82,7	0,595	49,2065
5	48252,7775	48,2527775	1,19	57,4208052
10	30200	30,2	2,38	71,876
20	19462,5	19,4625	4,76	92,6415
50	9902,5	9,9025	11,9	117,83975
100	6635	6,635	23,8	157,913

Cuadro 43. Lecturas promedio a 50°C/ 25 Días.

RPM	25 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	181500	181,5	0,119	21,5985
1	98725	98,725	0,238	23,49655
2,5	61525	61,525	0,595	36,607375
5	43650	43,65	1,19	51,9435
10	26850	26,85	2,38	63,903
20	17008	17,008	4,76	80,95808
50	8960	8,96	11,9	106,624
100	5572,5	5,5725	23,8	132,6255

Cuadro 44. Lecturas promedio a 50°C/ 30 Días.

RPM	30 Días	Pa-S	γ	t(Pa)
0,5	97500	97,5	0,119	11,6025
1	79000	79	0,238	18,802
2,5	55350	55,35	0,595	32,93325
5	40400	40,4	1,19	48,076
10	27470	27,47	2,38	65,3786
20	18600	18,6	4,76	88,536
50	9917,25	9,91725	11,9	118,015275
100	6550	6,55	23,8	155,89