

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS



**"ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN REOLÓGICA DE
MERMELADA DE TUNA (*Opuntia ficus indica*)"**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

MARIBEL YARANGA BULEJE

Promoción 2009 – II

Tingo María – PERU

2011



Q02

Y78

Yaranga Buleje, Maribel

Elaboración y Evaluación Reológica de Mermelada de Tuna (*Opuntia Ficus indica*). Tingo María, 2011

94 h.; 18 cuadros; 18 fgrs.; 45 ref.; 30 cm.

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

OPUNTIA FICUS INDICA / ELABORACION-MERMELADA / CALIDAD

VISCOSIDAD / EVALUACION REOLOGICA / ALMACENAMIENTO /

TINGO MARIA / RUPA RUPA / LEONCIO PRADO / HUANUCO / PERU.



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

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 15 de Abril de 2011, a horas 03:10 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. **YARANGA BULEJE, Maribel**, titulada:

“ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN REOLÓGICA DE MERMELADA DE TUNA (*Opuntia ficus indica*)”

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** en consecuencia la Bachiller, queda apta 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 Actualizado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 25 de Abril de 2011

.....
Ing. Lauriano Zavaleta De La Cruz
Presidente

.....
Ing. Alfredo Carmona Ruiz
Miembro

.....
Ing. Yolanda Ramírez Trujillo
Miembro

.....
Ing. Jaime Basilio Atencio
Asesor

DEDICATORIA

Este proyecto que acabo de terminar lo he dedicado con mucho amor a mi querida familia:

A mi querida madre Leonila porque sin ella no estaría en este mundo, por haberme apoyado en todo proyecto que emprendo en la vida y porque sé que siempre contare con ella en todas y cada una de las metas que me he propuesto.

A mí querido padre Miguel que siempre me dio apoyo y fuerzas necesarias para seguir adelante y no desmaye ante ningún obstáculo que se me presente en la vida.

A mis hermanos, Miguel Ángel y Magaly, Por creer en mí en todo momento, por ser la razón de mi vida, a quienes de una u otra manera quiero enseñarles el ejemplo a seguir para que ellos se superen más de lo que yo he logrado hasta ahora.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a Mi Padre Amado Jesús quien me dio esta oportunidad de vida para poder terminar uno de mis proyectos, además por ser fuente de perseverancia, fortaleza y por haberme permitido conocer personas maravillosas que me ayudaron de alguna manera en mi superación profesional.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por ser mí segundo hogar de formación profesional.

A la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por inculcarme los conocimientos y desarrollarme en mi carrera profesional.

Al Ingeniero Jaime Eduardo Basilio Atencio, asesor de mis practicas pre profesional y tesis, por su orientación y colaboración que hizo posible la culminación del presente trabajo de investigación y por ser ejemplo de dedicación ,esfuerzo y trabajo a seguir y lograr todos los éxitos posibles.

A la ingeniera Kempia Canales Yaranga, mi querida prima por su apoyo incondicional de seguir en camino durante el desarrollo y culminación de mi trabajo de investigación.

A todos quienes colaboraron GRACIAS!

INDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Tuna	3
2.1.1. Características generales y físicas de la tuna (<i>opuntia ficus indica</i>)	4
2.1.2. Composición	10
2.2. Mermelada	11
2.2.1. Principios de conservación de las mermeladas	12
2.3. Materias primas	13
2.3.1. Fruta	13
2.3.2. Azúcar	15
2.3.3. Pectina	16
2.3.4. Agua	16
2.3.5. Ácido	17
2.3.6. Colorantes	17
2.3.7. Conservadores	18
2.4. Condiciones de la cocción	18
2.4.1. Tiempo de cocción	18

2.4.2.	Temperaturas de calentamiento y de cocción	19
2.5.	Procedimiento de cocción	20
2.5.1.	Cocción de mermelada en paila abiertas	20
2.5.2.	cocción de la mermelada en pailas con vacío	21
2.5.3.	Sistema de cocción usando pulpa de fruta desmenuzada o jugo	22
2.5.4.	Cocción en vacío de fruta entera	23
2.5.5.	Acidez y valor pH de la mermelada	24
2.6.	Enfriamiento y envasado de la mermelada	24
2.7.	Defectos en la elaboración de mermeladas	26
2.7.1.	Causas de mermelada poco firme	27
2.7.2.	Causas de sinéresis (llorar o sangrar)	28
2.7.3.	Causas de cambio de color	28
2.7.4.	Causas de cristalización	29
2.7.5.	Causas de endurecimiento o encogimiento de la fruta en mermelada	29
2.7.6.	Causas de desarrollo de hongos y crecimiento de levaduras	30
2.7.7.	Propiedades reológicas de jugos o pulpas para la elaboración de mermeladas	30
2.8.	Reología y viscosidad	31

2.8.1.	Definición de Reología	32
2.8.2.	Características de los fluidos	34
2.8.3.	Medición con viscosímetro rotacional BROOKFIELD	36
2.8.4.	Efecto de la temperatura: factor que afecta la viscosidad	37
2.8.5.	Características Organolépticas	40
2.9.	Pruebas aceleradas	43
2.10.	Orden de reacción	44
2.11.	Efecto de la temperatura en la velocidad de deterioro	45
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1.	Lugar de ejecución	46
3.2.	Materia prima e insumos	46
3.2.1	Materia prima	46
3.2.2.	Insumos	47
3.3.	Materiales y equipos de laboratorio y/o proceso	47
3.3.1.	Materiales de laboratorio y/o proceso	47
3.3.2.	Equipos de laboratorio y/o proceso	48
3.4.	Métodos de análisis	49
3.4.1.	Análisis sensorial	49
3.4.2.	Análisis Reológico	49

3.5. Metodología	49
3.5.1. Determinación de parámetros para elaboración de mermelada	49
3.5.2. Descripción del flujo de operaciones	49
IV. RESULTADOS	54
4.1. Caracterización químico proximal y fisicoquímico de la tuna	54
4.2. Caracterización física de la tuna	55
4.3. Determinación de parámetros para elaboración de mermelada	55
4.4. Evaluación reológica de los tratamientos	61
4.5. Evaluación reológica durante el almacenamiento	65
4.6. Determinación del orden de reacción.	71
4.7. Determinación de la Energía de Activación.	74
V. DISCUSIONES	78
5.1. De la composición química de la tuna	78
5.2. Determinación de los parámetros para elaboración de mermelada	79
VI. CONCLUSIONES	85
VII. RECOMENDACIONES	87
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXO	94

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Rango de valores para algunas características de la tuna	5
2. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tuna	6
3. Valor nutritivo de 100g de porción comestible de tuna	9
4. Principales modelos matemáticos para fluidos	35
5. Caracterización químico proximal y fisicoquímico de la tuna	53
6. Caracterización física de la tuna	54
7. Análisis estadístico de la evaluación organoléptica por Kruskall- Wallis	55
8. Análisis de varianza de la evaluación organoléptica de los tratamientos	56
9. Comparación de media de los tratamientos por tuckey	56
10. Análisis factorial de los datos	57
11. Parámetros reológicos de los tratamientos	59
12. Análisis de varianza del efecto del contenido de azúcar, pectina y cáscara en la consistencia de la mermelada de tuna	60
13. Comparación de medias del índice de consistencia por diferentes niveles de cáscara	61
14. Relación entre índice de consistencia con la evaluación organoléptica	62
15. Evaluación reológica durante el almacenamiento	66
16. Índices de consistencia durante el almacenamiento a diferentes temperaturas, para evaluación en cinética de orden cero	

17. Logaritmo del índice de consistencia ($\ln m$) a diferentes temperaturas 70
18. Constante de velocidad de reacción de la variación del índice de consistencia
de mermelada de tuna 75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Clasificación de los fluidos	32
2. Diagrama de flujo tentativo de operaciones para la elaboración de mermelada de tuna.....	51
3. Diagrama de flujo definitivo de operaciones para la elaboración de mermelada de tuna	58
4. Reograma del mejor tratamiento de mermelada de tuna.....	60
5. Relación entre índice de consistencia con la evaluación organoléptica para los diferentes tratamientos	62
6. Reograma de mermelada de tuna a 30°C durante 10 días.....	64
7. Reograma de mermelada de tuna a 30°C durante 20 días.....	64
8. Reograma de mermelada de tuna a 30°C durante 30 días	65
9. Reograma de mermelada de tuna a 40°C durante 10 días.....	65
10. Reograma de mermelada de tuna a 40°C durante 20 días	66
11. Reograma de mermelada de tuna a 40°C durante 30 días	66
12. Reograma de mermelada de tuna a 50°C durante 10 días.....	67
13. Reograma de mermelada de tuna a 50°C durante 20 días	67
14. Reograma de mermelada de tuna a 50°C durante 30 días	68
15. Variación del índice de consistencia con el tiempo de almacenamiento de mermelada de tuna, ajustada a una cinética de orden cero	69

16. Variación de Ln del índice de consistencia con el tiempo de almacenamiento de la mermelada de tuna, ajustada a una cinética de primer71
17. Relación de coeficiente de velocidad de reacción con la temperatura, ajustada a la reacción de Arrhenius de orden cero..... 72
18. Variación del coeficiente de velocidad de reacción de primer orden, con la inversa de la temperatura ajustada a la ecuación de Arrhenius..... .73

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo consistió en el estudio de la influencia que ejerce la temperatura en los parámetros reológicos durante el almacenamiento de mermelada de tuna (*Opuntia ficus indica*), se utilizó para ello un reómetro Brookfield Pro-III.

Los resultados obtenidos para determinar el mejor tratamiento desde el punto de vista organoléptico para la mermelada de tuna fue 40% cáscara, 40% azúcar y 1% pectina, existiendo efecto altamente significativo de los tres factores evaluados cáscara, azúcar y pectina con $P_{\text{valor}} < 0,05$.

Todos los tratamientos tienen comportamiento pseudoplástico con índice reológico de 0,245 a 0,3899 e índice de consistencia entre 17,493 a 94,182 teniendo el mejor tratamiento organolépticamente $n = 0,3808$ y $m = 18,779$.

Los valores del índice de consistencia durante el almacenamiento a diferentes temperaturas se ajustan adecuadamente a una ecuación de Orden Cero y de Orden uno, siendo mejor el de orden uno con $R^2 > 0,98$.

El valor del coeficiente de velocidad de reacción (K) de la cinética de primer orden a diferentes temperaturas se ajusta al modelo de Arrhenius con $R^2 = 0,996$, obteniendo la energía de activación $E_a = 15,67 \text{ Kcal/ mol}$.

Los datos obtenidos revelaron que la temperatura tiene un efecto muy acusado en los parámetros reológicos de las mermeladas de tuna. Esta información resulta de especial utilidad que deberá tenerse en cuenta durante el almacenamiento.

ABSTRACT

The objective of the present work consisted on the study of the influence that exercises the temperature in the parameters reológicos during the storage of tuna marmalade (*Opuntia ficus indicata*), it was used for it a reómetro Brookfield Pro-III. The results obtained to determine the best treatment from the point of view organoléptico for the tuna marmalade were 40% shell, 40% sugar and 1% pectin, existing highly significant effect of the three factors evaluated shell, sugar and pectin with Pvalor $<0,05$. All the treatments have behavior pseudoplástico with index reológico from 0,245 to 0,3899 and index of consistency among 17,493 at 94,182 having the best treatment organolépticamente $n = 0,3808$ and $m = 18,779$.

The values of the index of consistency during the storage to different temperatures are adjusted appropriately to an equation of Order Zero and of Order one, being better that of order one with $R^2 > 0,98$.

The value of the coefficient of reaction speed (K) of the kinetics of first order to different temperatures is adjusted to the pattern of Arrhenius with $R^2 = 0,996$, obtaining the activation energy $E_a = 15,67 \text{Kcal / mol}$. The obtained data revealed that the temperature has an effect very accused in the parameters reológicos of the tuna marmalades. This information is of special utility that will be kept in mind during the storage.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, *Opuntia ficus* ha recibido la denominación general de "tuna" y se encuentra ampliamente distribuida en la región de sierra, donde crece en forma rústica capaz de cultivarse en terrenos marginales, constituyéndose en uno de los elementos más característicos de la flora nativa de la región; pocos esfuerzos se ha hecho para lograr una explotación tecnificada e intensiva de la tuna debido probablemente al temor de una superproducción, en vista del pequeño mercado con que se cuenta.

Una solución adecuada para este problema sería su industrialización en diferentes productos tales como: jalea, mermelada, jugo, néctar, fruta en almíbar, etc. La tuna es caracterizada por contener complejo vitamínico B, alto contenido en agua y equilibrio de los componentes (carbohidratos, fuente de minerales esenciales y ausencia de grasas), su elaboración en mermelada harían un producto de fuente energética muy útil para optimizar el rendimiento deportivo y recuperación del metabolismo.

Por otro lado, el conocimiento del comportamiento reológico, permitirá hacer el control del proceso y estabilidad de la mermelada en el almacenamiento, así mismo será una valiosa herramienta para el diseño de los equipos que permitirán su industrialización como mermelada.

Por las consideraciones planteadas en la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar los parámetros adecuados para la elaboración de mermelada de tuna.
- Evaluar reológicamente la mermelada de Tuna, procesado con diferentes contenidos de pulpa, cáscara, azúcar y pectina.
- Determinar la cinética de deterioro de la viscosidad como parámetro de calidad durante el almacenamiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Tuna

LÓPEZ *et al* (2007) mencionan que la tuna compite favorablemente con frutas como la naranja, la manzana y el durazno, disponibles en la misma temporada. Su contenido energético es bajo (38kcal), menor que el de las tres frutas anteriormente mencionadas. Este aspecto es importante ya que facilita su integración a la dieta para quienes cuidan el aporte calórico.

Según SAENZ (2006), las variedades del fruto que se comercializan internacionalmente son: blanca *alba borg* (de tipo blancas); *lutra borg* (amarilla); *irimormes borg* (amarillo/rojizo); *rubra borg* (color carmín); y la variedad morada. La tuna Cardona (*Opuntia streptacantha*), es un fruto de regular tamaño, no muy resistente para su manejo, de consistencia pastosa y de fácil descomposición, pues madura rápidamente.

Según TINEO (2002), la tuna (*Opuntia ficus indica*) es una especie que puede crecer en terrenos donde otros cultivos se ven limitados por falta de agua, por lo que muchos consideran como una planta rústica capaz de cultivarse en terreno de zonas marginales al observar la planta creciendo incluso sobre rocas, sin embargo plantaciones de tuna en varios lugares de Ayacucho y Costa del Perú no han prosperado por carecer de mayor información sobre el manejo

agronómico, especialmente en lo que se respecta al pH y salinidad del suelo. La tuna es bastante conocida en nuestro medio, siendo la mayor cosecha entre enero y abril, produciéndose una sobre producción en esa época. Este fruto desempeña un papel importante en la industria, ya que se puede procesar en gran número de productos y subproductos, como zumos, néctares, licores, jaleas, enlatados de tunas, mermeladas y productos funcionales.

2.2.1. Características generales y físicas de la tuna (*opuntia ficus indica*)

Según SAENZ (2006), la tuna es una baya ovoide, cilíndrica, de color verde cuando es tierno y blanco amarillo, rojo hasta violeta cuando es maduro. Umbilicada en el extremo superior (cicatriz floral) de pericarpio correoso, llamada cladodio donde nacen pequeñas espinas. La pulpa es gelatinosa contiene numerosas semillas pequeñas y variable que están localizadas en dispersión regular en la pulpa del fruto; son lenticulares, testa clara y arilo ancho. La tuna es un fruto de ciclo corto que se desarrolla aproximadamente en 120 días, los cambios respiratorios y bioquímicos después de la cosecha son poco significativos.

La tuna presenta 40 mg/g de ácido ascórbico mayores que la manzana, pera, uva y banana, es buena fuente de potasio (217 mg/100g), tiene un bajo contenido de sodio (0,6 a 1,19 mg/100g) representado una ventaja para ser consumida por personas con problemas renales o de hipertensión (Sepúlveda y Sáenz, mencionados por SÁENZ, 2006).

Para que la pulpa se constituya un insumo apto para la industria, debe procesarse y cumplir algunas características de calidad, en especial la viscosidad o consistencia, característica física fundamental en pulpas de frutas.

La calidad de un producto alimentario depende de factores, entre ellos la textura en el caso de sólidos o consistencia en líquidos y semilíquidos (LEWIS, 1993; ROUDOT y CLAUDE 2004).

REYES *et al.* (2004) mencionan que la tuna presenta diferentes características dependiendo de la superficie a la cual se esté refiriendo; en su estudio se evaluaron variaciones morfológicas de frutos de 21 plantíos del tipo solar, experimental y comercialmente; las variedades comercializadas se encuentran en los parámetros que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Rango de valores para algunas características físicas de tuna de diversas variedades.

Característica	Rango de valores
Peso total	40 – 190 g
Peso cáscara	14 – 100 g
Peso pulpa	45 - 130 g
N° semillas	65 – 480
Diámetro semillas	0,1 – 0,5 cm
Longitud fruto	6,0 – 10,0 cm
Diámetro fruto	3,5 – 6,6 cm
Sólidos solubles pulpa	10,0 – 17,0 °Bx

Fuente. REYES *et al.* (2004).

MATOS y AGUILAR (2010), en cuanto a caracterización fisicoquímica en el cuadro 2 se muestra los resultados obtenidos de la caracterización físico química de la pulpa de tuna.

Cuadro 2. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de tuna.

Característica	Contenido
Humedad (%)	79,40
°Brix	13,00
pH	6,33
Densidad (g/ml)	1,05
Acidez total (ácido cítrico)	0,06

Fuente. MATOS y AGUILAR (2010).

Según ESPINOZA (1996), la clasificación taxonómica de la tuna es como sigue:

- División : Fanerógamas.
- Clase : Dicotiledónea.
- Subclase : Archiclamídea.
- Familia : Catáceae.
- Sub familia : Opunticidaeae.
- Género : Opuntía.
- Especie : *Opuntía ficus indica*.

Según ESPINOZA (1996), la especie presenta mucha variabilidad y el cruzamiento entre sus variedades es relativamente fácil, se ha obtenido las variedades más conocidas y utilizadas que actualmente son:

- **Blanca:** Su tamaño es mediano de 1,50 a 2,50 m de altura. Sus flores son de color amarillo claro, sus pencas tienen de 20 a 35 cm de diámetro con espinas de tamaño mediano a pequeño y con frutos de una longitud de 8 a 10 cm y con un diámetro mayor de 4,5 a 5 cm. La parte comestible del fruto es firme, jugosa, muy dulce y de color verde cristalino muy claro. Es el fruto que tiene mejor aceptación como fruta fresca en el mercado de lima, esta variedad es dulce, cristalina jugosa.

- **Amarilla:** Dentro de las variedades amarillas las conocidas son: amarilla de monte, amarilla de huerta y amarilla costeña. Todos poseen flores de color amarillo, las dos primeras variedades son plantas de tamaño mediano pequeños de 3 a 2 metros de altura y presentan espinas con pencas no muy suculentas. La amarilla costeña alcanza hasta 3 m de altura y posee espinas muy pequeñas y pencas suculentas de gran tamaño. Por la calidad del fruto la amarilla de huerta y amarilla costeña son las preferidas, no así la amarilla de monte que es de reducido tamaño y gran cantidad de semillas.

La variedad amarilla es muy dulce, posee muchas semillas, con espinas y es la mejor para producir cochinilla.

- **Colorada:** Son de fruto delicado, grande, arenoso, con espinas y de menos aceptación. Las plantas son de tamaño mediano, variando de 2,5 a 3 m. De altura, de pencas gruesas carnosas, con flores de distintas variedades del rojo. El fruto es grande, con corteza de color rosado y el interior rojo en sus diversas tonalidades. La corteza del fruto es delgado sin condiciones para el transporte, no es bien utilizada pese a su buen sabor y gran cantidad de azúcares, debido a que llega al mercado en condiciones deficientes el fruto se deteriora rápidamente.

- **Morada:** Las plantas son de gran tamaño, pasan los 3 m de altura con pencas carnosas de gran tamaño, presentando escasas y pequeñas espinas. La flor es de un color violeta presentando tonalidades. El fruto es muy sabroso, dulce, jugoso y de buen tamaño. Esta variedad es de mejor calidad de doble propósito es decir para la producción de frutos y cochinilla.

Al respecto SUDZUKI (1983), manifiesta que la tuna es originaria de América, encontrándose tanto en el norte como en el sur del continente. Los principales países productores son: Italia, España, México, Chile y los países del norte de África, recibiendo este fruto diversos nombres según el país de origen.

La tuna se desarrolla en ambos lados de la línea ecuatorial, ubicándose con precisión en la región de América en la que se origino. Los principales centros de distribución de esta familia son la meseta central de México y los andes del Perú y Bolivia, habiendo sido introducidos por los europeos a España, Italia y Austria (MORAN, 1970).

La composición de los frutos varía con la madurez. Es necesario tener en cuenta que son frutos «no climatéricos» (no maduran una vez cosechados), por lo que es importante cosecharlos en el punto de madurez óptima de consumo, donde está mejor expresado su potencial. Esta madurez óptima de consumo está reflejada en los valores de algunos parámetros específicos. Según INGLESE y CANTWELL (1999), se han propuesto diferentes parámetros para definir la mejor época de cosecha de la fruta: tamaño y llenado del fruto; cambios en el color de la cáscara; firmeza del fruto; profundidad de la cavidad floral o receptáculo; contenido de sólidos solubles totales (SST).

2.1.2. Composición

El valor nutritivo de una porción comestible de tuna de variedad verde se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Valor nutritivo de 100 g de porción comestible de tuna.

Característica	Rango de valores
Agua	83,40%
Energía	41,00 kcal
Proteína	1,40-1,60 %
Grasa total	0,70 %
Carbohidratos	12,30 %
Fibra	10,60 %
Ceniza	1,64 %

Fuente USDA (2006).

2.2. Mermelada

Según GAMARRA (2007), mermelada es el producto de consistencia pastosa o gelatinosa, obtenido por la cocción y concentración apropiada de frutas sanas, limpias y adecuadamente preparadas, adicionadas de edulcorantes, ácido y pectina, con o sin adición de agua, siendo un alimento rico en calorías y nutrientes.

LÓPEZ *et al.* (2007) en su trabajo de investigación, estudió diferentes formulaciones de mermeladas obtenidas al mezclar tunas de la variedades Reina (*Opuntia amyclaea*) y Xoconostle (*Opuntia matudae Scheinvar*) con el fin de mejorar su color, acidez, sabor y textura, y seleccionar por evaluación sensorial la mejor de las mezclas usando un análisis de ordenamiento por rangos, la formulación F2 fue seleccionada como la mejor por sus características físicas como sensoriales, la cual contiene: pulpa de tuna verde 60%, pulpa de xoconostle 30%, cáscara de tuna verde 10%.

Según GONZALES *et al.* (2006), la elaboración de las jaleas y mermeladas se realizó utilizando un diseño experimental totalmente al azar, teniendo como variables: el agente de gelación (pectina carragenina y agar), las temperaturas de almacenamiento (25 y 37 °C) y los tiempos de incubación (45 y 90 días). La caracterización física y química de los productos se realizó de acuerdo a la metodología descrita en las Normas Oficiales Mexicanas Para determinar la carga microbiana se determinaron organismos coliformes, mesófilos aerobios , hongos y levaduras. Las pruebas sensoriales fueron realizadas utilizando una escala hedónica de 10 puntos.

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.

La elaboración de esta clase de productos, consiste en una rápida concentración de la fruta mezclada con azúcar hasta llegar al contenido en azúcares de 65%. Durante la concentración, se evapora el agua contenida en la fruta, los tejidos se ablandan. Por este ablandamiento, la fruta absorbe azúcar y libera pectina y ácidos. A causa de la presencia de los ácidos y de la elevada temperatura, ocurre la parcial inversión de los azúcares.

2.2.1. Principios de conservación de las mermeladas

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 (HILARIO, 2001).

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.

Los conservadores químicos como el ácido benzoico o sus sales, el ácido sórbico o sus sales, se usan para inhibir desarrollo de hongos y levaduras que puedan ser tolerantes a las condiciones de estos productos y aseguran la conservación del producto después que se ha abierto en envase.

2.3. Materias primas

2.3.1. Fruta

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. Una recolección temprana impide la maduración del producto durante su almacenamiento. La fruta demasiado verde es propensa a alteraciones fisiológicas y a una elevada transpiración. El fruto cosechado

tardíamente tiene un tiempo de conservación menor, es sensible a la podredumbre y a los efectos adversos de la manipulación (MEYER, 1996).

Existen los siguientes índices para determinar el momento más adecuado para la cosecha:

- Coloración externa.
- Tamaño.
- Jugosidad de la pulpa.
- Consistencia de la pulpa.
- Relación entre dulzor – acidez.
- Facilidad para desprender el pedúnculo.

La mayor parte de las frutas contienen un promedio de 85% de agua, 3% de sustancias como glucosa, fructosa y sacarosa, y 2% de proteínas. El resto consiste en celulosa, compuestos pécticos, sales y vitaminas.

Los compuestos pécticos contribuyen a dar consistencia a las frutas. Cuando se cuecen frutas ácidas con azúcar y se concentra la masa suficientemente, el producto se solidifica al enfriarse. Esta solidificación es causada por la pectina (RAUCH, 1950).

2.3.2. Azúcar

El azúcar es una de las materias primas más estables de las utilizadas en la producción de mermeladas. Su contenido de sólidos solubles es alrededor del 100 %. Se debe tener cuidado especial al pesar el azúcar.

El azúcar puede adicionarse a la fruta o pulpa bien en estado sólido o bien disuelto en agua como jarabe. Es motivo de controversia en qué forma es preferible hacerlo, aunque desde el punto de vista técnico, todas las ventajas concebibles están de parte de hacer la adición como jarabe. Existe un caso a favor de la adición del azúcar sólido, que se detalla a continuación:

La adición del azúcar sólido causa un ligero quemado de ésta, particularmente en la que queda en contacto con las paredes de las pailas de cocción, dando lugar a caramelo, que es también característico de la mermelada casera. Mucha gente tiene preferencia por este sabor y como el paladar para la mermelada se adquiere y es muy personal es inútil razonar en contra alegando que el gusto de caramelo enmascara el sutil sabor de la fruta.

Por otra parte, la adición del jarabe de azúcar tiene muchas ventajas. En la instalación para jarabe se ahorra tiempo y trabajo: la pesada es mucho más exacta, y en la filtración se eliminan impurezas, tales como fibras de los sacos del azúcar, insectos, etc. por último, el color y la estabilidad de la mermelada se mejoran grandemente (RAUCH, 1950).

2.3.3. 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 de las mermeladas; contribuye a dar la consistencia adecuada al producto final, cuando el azúcar, el ácido y el agua se encuentran en las proporciones adecuadas (RAUCH, 1950).

2.3.4. Agua

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

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.

Es necesario mantener constante el contenido en ácido de la mermelada, aumentándolo en algunos casos y neutralizándolo en otros. La acidez total no debe exceder del 0,8 %, pero puede tomarse el 0,5 % como una norma fija de carácter general y el 0,3 % como la cifra mínima. El ácido cítrico es el más frecuentemente empleado para esta finalidad (RAUCH, 1950).

2.3.6. Colorantes

Los colorantes deben mezclarse en grandes recipientes. Es esencial mantener sin variaciones la concentración e intensidad de color. Todas las medidas deben estar convenientemente calibradas para evitar cualquier error.

Por este motivo el color de una mermelada es un factor de considerable importancia. No se necesita ningún colorante para mermeladas obtenidas de frutos frescos, si el tiempo de cocción es corto y el calor no excesivo. Sin embargo, el color natural del fruto resulta siempre afectado cuando se preserva con SO_2 y en algunos casos, por la cocción prolongada, necesitando entonces la adición de colorante (RAUCH, 1950).

2.3.7. Conservadores

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.

En la elaboración de mermeladas en el país está permitido el empleo de conservadores orgánicos, existiendo muchos en el mercado, siendo el más común y específico benzoato de sodio y sorbato de potasio (RAUCH, 1950).

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 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. Procedimiento de cocción

La cocción de la mermelada en sí, bien en pailas de cocción abiertas o bien en vacío, requiere destreza y práctica. El conocimiento teórico y el control científico del proceso, juntamente con la sistemática inspección del producto terminado, prestarán gran asistencia en la manufactura de productos de alta estabilidad y uniformidad, pero no reemplazan la destreza individual, que es solamente adquirida por experiencia y observación. A continuación se describen las operaciones de cocción (RAUCH, 1950).

2.5.1. Cocción de mermelada en paila abiertas

Las pailas de cocción se cargan con el peso requerido del fruto fresco, jugo o pulpa. Se añade el agua y la mitad del azúcar, y el conjunto se hierve, en continua agitación, durante tres a cuatro minutos. Se cierra el vapor, se añade el agua restante y se continúa la cocción hasta cerca del punto final. Cuando ya se está próximo a él se añade la pectina, el ácido y el colorante. La ebullición se continúa hasta el punto final, e indirectamente de alcanzado se descarga la mermelada.

El tiempo total de cocción no debe exceder de 10 a 20 minutos. Las fábricas que emplean jarabe de azúcar líquido cargan las pailas con la fruta y el jarabe antes de la operación de la cocción.

El encargado de efectuar esta operación establece el punto final de la cocción con la ayuda del termómetro y la espumadera. La espumadera, normalmente, consiste en una cuchara de metal poco profunda; el termómetro sirve solamente para proporcionar una orientación muy aproximada. Como la concentración de azúcar de la mezcla aumenta y el punto de ebullición se eleva, tiene que hacerse la corrección por la presión barométrica. La espumadera entra en acción antes de alcanzar el punto final. Cuando el termómetro marca aproximadamente 104°C se sumerge la espumadera en la mermelada e inmediatamente se sostiene en alto. Si las gotas de mermelada caen del utensilio en forma de copos, el encargado experimentado sabe que el punto final está próximo.

La cantidad en peso por cocción varía de unas fábricas a otras. La óptima, en pailas de 182 litros, es de 50 a 54 kg. Existen otros tipos de ensayos más indicados para operación sin experiencia; uno de estos consiste en introducir unas gotas de la mermelada caliente en un vaso de agua fría. Si llegan al fondo del vaso sin desintegrarse es que se ha alcanzado el punto de gelatinización. Los ensayos finales para determinar el contenido en azúcar se llevan a cabo mediante el empleo de un refractómetro.

2.5.2. cocción de la mermelada en pailas con vacío

La cocción de mermeladas en vacío se practica, generalmente en los Estados Unidos y en cierta medida en algunos países de la Europa continental. Tiene ventajas evidentes éste método: la de poder cocer mayores cantidades y el no ser necesario el enfriamiento después de la descarga. Se cree también que con este sistema de fabricación se mantiene entera la forma de la fruta y se preserva mejor el sabor y el color que con el método de paila abierta. También permite la penetración del azúcar en la fruta durante los cambios de presión, cuando se rompe el vacío. Por otra parte, ciertos inconvenientes deben ser destacados; así, el proceso de cocción es de más difícil control, el cambio de variedades de mermelada durante el día implica operaciones de limpieza bastante complicadas y finalmente, la ausencia de caramelización varía en cierto grado el sabor peculiar de la mermelada.

La ligera caramelización del azúcar, tal como se produce con el método de paila abierta, da a la mermelada un sabor peculiar característico,

aspecto éste enteramente ausente con la mermelada cocida en vacío. Las pailas de vacío normalmente son con camisa de vapor y están hechas bien en acero inoxidable o bien en cobre. Una caperuza se atornilla a la paila y está provista de un extractor que a su vez está conectado con una bomba de vacío. Manómetros, termómetros y una ventana de vigilancia forman parte de la instalación. Las muestras se pueden tomar de la paila a través de un grifo colocado cerca del fondo de la misma, algunas pailas de vacío están provistas de refractómetros.

2.5.3. Sistema de cocción usando pulpa de fruta desmenuzada o jugo

Se emplea un pre calentador para disolver el azúcar. La fruta, el azúcar y el ácido se cargan en el pre calentador, que se calientan hasta alrededor de 60 a 71 °C. Al alcanzar este punto, la mezcla se vierte en la paila de vacío y se cuece hasta alcanzar la consistencia requerida. Si la fruta no contiene el agua suficiente para disolver el azúcar, debe adicionársele una cantidad suplementaria.

La pectina se introduce hacia el final de la ebullición. Debe tenerse presente que una pequeña cantidad de inversión de la sacarosa tiene lugar durante el proceso de cocción en vacío, a causa de las temperaturas bajas. Es, por tanto, deseable añadir una pequeña cantidad de ácido cítrico al azúcar para invertirlo parcialmente antes de que ésta se adicione a la fruta o jugo, o bien puede añadirse azúcar invertido o glucosa como tal.

2.5.4. Cocción en vacío de fruta entera

Cuando se hierve mermelada de fruta entera, el procedimiento es algo diferente. Se separa la fruta y el jugo, y éste, juntamente con la cantidad de azúcar requerida, se coloca en el pre calentador, que se calienta a 71°C. En esta fase es aconsejable adicionar algún ácido cítrico. Una vez que se ha disuelto el azúcar, la mezcla se introduce en la paila de vacío y se evapora el exceso de humedad a una temperatura que no exceda de los 60°C, y después se pasa a la paila de vacío, donde se hierve en un vacío de 66 cm, tan pronto como se alcanza la concentración necesaria, se cierra el vapor y se permite que la temperatura descienda hasta los 54°C, mientras se tiene trabajando la bomba de vacío.

En este momento se rompe el vacío lentamente mediante una ligera abertura de la válvula de descarga del fondo. A continuación se le agrega la pectina, y la mezcla se calienta de nuevo, sometiéndola a un vacío de 66 cm, después de una evaporación suficiente se interrumpe el vacío, mientras se continúa la agitación. Se toman las muestras para comprobación de los sólidos solubles. Si el contenido en sólidos es más alto que el requerido, se debe adicionar agua estéril, y si es demasiado bajo, tiene que continuarse la cocción. Es aconsejable una ligera sobre cocción y el ajustar la mezcla mediante la adición de agua estéril.

En los últimos años, se han ideado ciertos procesos continuos para la cocción de la mermelada. Están basados en evaporadores de nube ascendente o en sistemas de corriente ascendente y descendente.

La cocción de la mermelada con un husillo térmico está todavía en fase experimental. Es demasiado pronto aún para fijar el verdadero valor de estos métodos, tanto económica como técnicamente.

2.5.5. Acidez y valor pH de la mermelada

La capacidad para cuajar y formar gel debe controlarse ajustando el pH de la pulpa o jugo de la fruta. No se forma ningún gel consistente por encima de las proximidades del pH 3,4. El poder gelatinizante aumenta reduciendo el índice de acidez a pH 3. Por debajo del pH 3 se observa una tendencia a que se produzca el fenómeno conocido como "sangrado" (sinéresis).

2.6. Enfriamiento y envasado de la mermelada

Según RAUCH (1950), la culminación de la mermelada comprende cuatro operaciones principales:

- Pre enfriamiento anterior al envasado.
- Envasado.
- Enfriamiento después del envasado.
- Colocación de etiquetas y embalado de la mercancía.

2.6.1. Pre enfriamiento anterior al llenado

El calentamiento prolongado afecta al aspecto, así como a la resistencia al almacenamiento del producto terminado. Después de su descarga

de las pailas de cocción la mermelada tiene una temperatura superior a los 100°C, y como la inversión de azúcar está influida grandemente por la temperatura, es evidente que un sistema de enfriamiento eficiente es necesario para controlar y comprobar la buena marcha de la fabricación. Otro factor a considerar es el peligro de que se produzca un cambio de color a causa de la caramelización.

También se presentan dificultades en el envasado, debido a que algunas variedades de fruta tienen tendencia a mantenerse a flote, siendo los más susceptibles las fresas, cerezas, grosellas negras y las frutas de hueso indicadas para mermeladas. Cuando están cerca del punto de gelatinización las mermeladas de esta clase de frutas deberán enfriarse, pero hay que tener cuidado de no excederse del límite, porque de lo contrario, el gel se rompe y la mermelada se coagula; esto se aplica particularmente a las jaleas.

Las máquinas de enfriar son de diferentes diseños, reduciéndose, en los tipos más económicos, a tanques con una doble pared, a través de los cuales puede circular agua fría. Más simples todavía son los tanques de madera provistos de artesas recubiertas de cobre y que funcionan basados en el mismo principio que los enfriadores anteriores. Este sistema tiene la desventaja de que la mermelada se adhiere a los lados de los enfriadores, afectando adversamente a la eficacia de la máquina, dificultad que puede subsanarse mediante el uso de cilindros giratorios, aplicándole agua a la parte exterior de los mismos cuando la mermelada pasa a su través.

Para lograr una continuidad en la operación es posible el conectar el sistema de enfriamiento con el tanque de recepción y desde éste se introduce manualmente la mermelada en los envases o se bombea a la máquina de llenado.

2.6.2. Envasado de mermeladas

La manipulación de la mermelada se ha revolucionado con la introducción de la máquina automática de envasar. La mermelada se bombea desde el tanque de recepción a la máquina, que debe estar situado lo más próximo posible a aquélla y se descarga en los envases a través de las boquillas inyectoras. Es posible extender la operación continua de envasado a las operaciones de cierre y sellado y subsiguientemente, a la limpieza de los envases.

2.6.3. Enfriamiento después del envasado

Después de llenos los tarros con la mermelada no deben enfriarse con demasiada rapidez. En lo que concierne a la mermelada enlatada, la forma de efectuarlo es bastante simple, ya que consiste en pasar los botes a través de un baño de agua; los tarros de vidrio y los envases de gran capacidad tienen que enfriarse por aire. Consiste en pasarlos lentamente a través de un túnel provisto de chorros de aire o en guardarlos en una habitación fría con corrientes de aire, hasta que la mermelada está bien gelatinizada.

2.7. Defectos en la elaboración de mermeladas

Es evidente que la fabricación de un producto que está sujeto a un número elevado de factores variables tiene que estar asimismo expuesto a errores. Aun en una producción controlada muy minuciosamente algunas veces se producen defectos. No resulta siempre válido, para determinar las causas de los defectos que se producen en la preparación de mermelada y jalea, el retornar a su origen, particularmente si los motivos del fracaso han sido ocasionados por más de un factor.

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, acides 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. (RAUCH, 1950).

2.7.1. Mermelada poco firme

Las causas pueden ser por:

- 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 jalea, 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 original el fenómeno referido frecuentemente como “rotura de gel”.

2.7.2. Sinéresis (llorar o sangrar)

Las causas pueden ser por:

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

2.7.3. Cambio de color

Las causas pueden ser por:

- 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 enmascara 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 y 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.

2.7.4. 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.

2.7.5. Endurecimiento o encogimiento de la fruta en la mermelada

Causadas por:

- El 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.

2.7.6. Desarrollo de hongos y crecimiento de levaduras

Causas:

- 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) (RAUCH, 1950)

2.7.7. 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.

Según MATOS y AGUILAR (2010), el objetivo del trabajo "influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa de tuna (*Opuntia Ficus Indica*) fue determinar la influencia de la temperatura y concentración sobre los parámetros reológicos como el índice de flujo (n) e índice de consistencia (K) de la pulpa de tuna variedad blanca. El estudio del comportamiento reológico fue estudiado a concentraciones de 13, 20 y 27 °Brix y temperaturas de 25, 45 y 65°C, la distribución de los experimentos se realizó con un diseño central compuesto centrado en las caras (DCC-CC), generado y analizado con el software STATISTICA 7,0. Las medidas reológicas se realizaron con un reómetro rotacional Brookfield DV-III+. El comportamiento reológico fue ajustado adecuadamente a la ley de la potencia ($R^2 > 0.9$), definiendo a la pulpa de tuna como un fluido pseudoplástico ($n \leq 0.881$). Existe una influencia positiva de la concentración sobre K , fue ajustado a un modelo exponencial ($R^2 > 0.9$), un efecto inverso tuvo la temperatura sobre el mismo valor.

El análisis de varianza (ANVA) muestra que existe un efecto significativo de la concentración y temperatura sobre k , a valores inferiores de 25°C y concentraciones por encima de 27°Brix, se pueden obtener mayores índices de consistencia.

2.8. Reología y viscosidad

2.8.1. Definición de Reología

La Reología es una disciplina científica que se dedica al estudio de la deformación y flujo de la materia (BIRD *et al.* 2002). 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. Ejemplos cotidianos de interés para la reología se encuentran la mayonesa, yogurt, pinturas, asfalto, sangre y muchos más (CHHABRA, 2007).

Un fluido es capaz de fluir debido a las fuerzas de cohesión en sus moléculas y suele deformarse continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante. La viscosidad μ es una propiedad de transporte, ya que cuantifica la conductividad de cantidad de movimiento a través de un medio conductivo o fluido. Se interpreta como la resistencia que ofrecen los fluidos a ser deformados cuando son sometidos a un esfuerzo (BARNES, 2000).

La clasificación de fluidos (Figura 1) está dada por las diferentes características reológicas que pueden ser descritas a través del uso de un viscosímetro (McC LEMENTS, 1999).

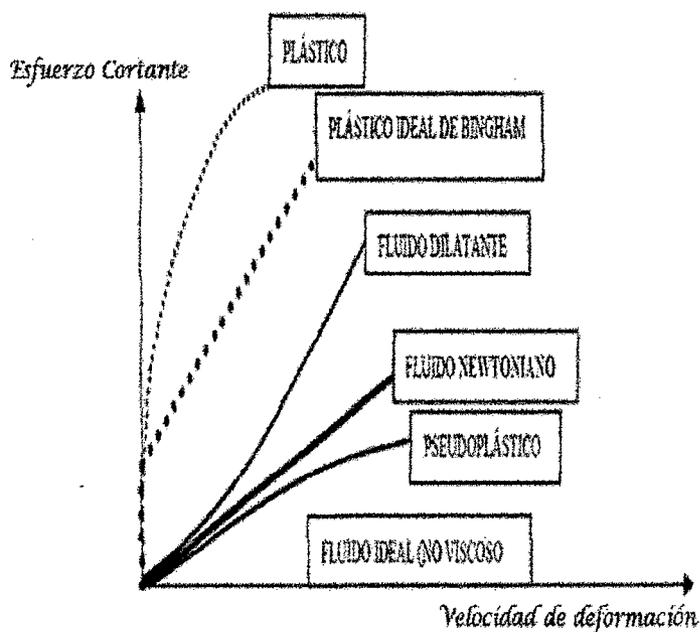


Figura 1. Clasificación de los fluidos

Según GAHONA (2004), la Reología es la ciencia de la deformación y el flujo de la materia. Es el estudio de la forma como los materiales responden a un esfuerzo o deformación, además todos los materiales tienen propiedades reológicas.

La Reología de acuerdo con BOLMSTEDT (2000), la define como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia, en la ciencia de alimentos, la reología es una herramienta útil para la determinación de la consistencia de diversos productos; ya que esta propiedad se encuentra definida por la viscosidad y la elasticidad.

2.8.2. Características de los fluidos

Según HERMIDA (2000), los cuerpos deformables presentan dos comportamientos extremos que son el elástico y el viscoso, entre los cuales puede existir una gama muy amplia, vulgarmente conocida como comportamiento plástico, con entidad propia o como combinación de los comportamientos elástico y viscoso.

Según ALVARADO (2001), las propiedades reológicas de los alimentos fluidos se cuantifican mediante parámetros que son necesarios para solucionar problemas que se presentan en varios aspectos que tienen relación con la obtención de un producto alimenticio como son: control de calidad, evaluación de la aceptación del consumidor, evaluación de la textura, diseños de procesos y control, determinación de la estructura del alimento incluyendo cambios fisicoquímicos que ocurren durante el proceso de elaboración y almacenamiento.

Los alimentos debido a su gran variedad en estructura y composición presentan características reológicas, que van desde una simple conducta newtoniana a una no newtoniana que puede ser dependiente o independiente del tiempo, como también visco elástico. Incluso un mismo alimento puede exhibir conducta newtoniana y en otros casos no newtoniana, dependiendo de su origen, concentración y de otras propiedades que tienen relación con interacciones moleculares mencionado por (ALVARADO ,2001).

RAO (1986) afirma que existen diferentes tipos de comportamientos reológicos para los fluidos alimenticios, los cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos.

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.

- **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, explica BOLMSTEDT (2000), 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.

- **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.

- **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 (BOLMSTEDT, 2000).

El objetivo del presente trabajo es que los lectores identifiquen 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 4. 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	ECUACION
Fluido ideal de Bingham	1) $\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma}$
Ley de Newton	2) $\tau = \mu \dot{\gamma}$
Ley de Ostwald	3) $\tau = k(\mu \dot{\gamma})^n$

Fuente: REGALADO y NORIEGA (2008).

2.8.3. 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.

2.8.4. Efecto de la temperatura: factor que afecta la viscosidad

Según CARMONA (2008), la viscosidad de un alimento líquido disminuye con la temperatura. Existen varias formulas que permiten evaluar la variación de la viscosidad de un liquido la 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.

La ecuación de Poiseville (1840)

$$u = \frac{u_0}{1 + \alpha T + T^2}$$

Donde:

u₀: La viscosidad dinámica a 0°C.

T: Temperatura absoluta en °C.

β y α: Coeficientes constantes.

IBARZ y BARBOSA (2005) reportan que los alimentos fluidos durante todo el proceso de elaboración, almacenamiento, transporte, venta y consumo, están sujetos a variaciones continuas en su temperatura. Es por ello, que resulta importante conocer las propiedades reológicas de los productos en función de la temperatura.

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 (RAO *et al.*, 1984; VITALI *et al.*, 1974; MORESI y SPINOSI, 1984).

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

En la que Ea 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 (HARPER y EL SAHRIGI, 1965; VITALI y RAO, 1984 a). Esta ecuación es la más utilizada en la bibliografía para todo tipo de fluidos alimentarios; aunque existen otras, como la utilizada por SÁENZ y COSTELL (1986):

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

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.

En el caso de zumos de kiwi (IBARZ *et al.*, 1991) han aplicado una ecuación lineal para describir la variación del umbral de fluencia con la temperatura.

La temperatura puede afectar a los diferentes parámetros reológicos, como son viscosidad, índice de consistencia, índice de comportamiento al flujo y umbral de fluencia. Generalmente, el efecto que se observa es el siguiente:

- La viscosidad e índice de consistencia disminuyen cuando aumenta la temperatura.

- El índice de comportamiento al flujo no suele verse afectado por la variación de temperatura (SAÉNZ y COSTELL, 1986; MIZRAHI y BERK, 1972; GRANDALI *et al.*, 1982). Sin embargo en algún caso se ha observado que un aumento de temperatura puede hacer aumentar el índice de comportamiento al flujo (IBARZ y PAGÁN, 1987), pasándose de comportamiento pseudoplástico a newtoniano.

- El umbral de fluencia también puede variar con la temperatura, de tal modo que al aumentar la temperatura disminuye su valor. Así, para zumos de limón (SAÉNZ Y COSTELL, 1986) esta variación del valor del umbral de fluencia puede provocar un cambio en el comportamiento de los zumos, pasando de ser pseudoplástico a newtonianos.

2.8.5. 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 los 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.

- **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 la 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.

- **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.

- **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.

2.8.6. Evaluación sensorial de pulpa y mermelada de tuna

CEREZAL y DUARTE (2005) evaluaron sensorialmente dos productos concentrados y conservados por métodos combinados, empleando las cáscaras de tuna molidas, siendo estos: a) pulpa de tuna con incorporación parcial de cáscaras y adición de sacarosa hasta conformar una pulpa endulzada concentrada y b) mermelada de tuna empleando las cáscaras molidas, adición de sacarosa y sin pectina. Además, se añadieron preservantes y acidulantes en bajas concentraciones. Para el primer producto se planteó un diseño factorial $3 \times 2 \times 2$ cuyos factores fueron: (BS) bisulfito de sodio (0, 50 y 100 ppm), (A_w) actividad de agua (0,94 y 0,96) y ácidos [(AF) (ácido fosfórico (50% v/v) y en mezcla con ácido cítrico (AF + AC) (50% v/v)], manteniéndose constantes las concentraciones de (SK) sorbato de potasio (1000 ppm) y (AC) ácido ascórbico (500 ppm). En el segundo producto se desarrolló una sola formulación con 63°Brix, pH = 4,0; y SK = 250 ppm.

Los productos se degustaron organolépticamente con catadores entrenados, escogiéndose la elaboración de un néctar para evaluar el primer producto. La formulación seleccionada como "Buena" fue la de $A_w = 0,94$; adición de AF y BS = 100 ppm. La mermelada obtuvo una evaluación más discreta pero "Aceptable".

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:

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

Obteniéndose las siguientes ecuaciones para diferentes ordenes 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 mas prevaleciente y ampliamente usado e 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 MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El Presente trabajo de investigación se realizó en los siguientes laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias: Análisis de Alimentos, Ingeniería de Alimentos y Análisis Sensorial de los Alimentos, los cuales están ubicados en el interior del campus de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (Av. Universitaria s/n), en el Km 1,5 de la carretera central Tingo María –Huánuco, en el distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, a 660 msnm con una humedad relativa promedio de 80% y una temperatura promedio de 25°C.

3.2. Materia prima e insumos

3.2.1 Materia prima

Como materia prima se utilizó la tuna morada (*Opuntia ficus indica*), de la asociación de productores de tuna y cochinilla del distrito de Santo Domingo de los Olleros de la provincia de Huarochirí adquirido de los centros de acopio del mercado de frutas de la ciudad de Lima, los cuales fueron enviadas hasta la ciudad de Tingo María por la proveedora: Sra. PAULA TORREZ MAYO.

3.2.2. Insumos

- Azúcar blanca
- Pectina cítrica
- Ácido cítrico
- Bicarbonato de sodio
- Agua

3.3. Materiales y equipos de laboratorio y/o proceso

3.3.1. Materiales de laboratorio y/o proceso

3.3.1.1. Materiales de vidrio

- Vasos de precipitado de 50, 100 y 600 ml marca Kimax, USA
- Fiola de 1000 ml marca Pirex, México
- Probetas de 200 y 1000 ml marca Brand, Germany.
- Envases tapa rosca de 500 g
- Termómetro (0 - 100°C).

3.3.1.2. Materiales de Plástico

- Baldes 10 a 20 L
- Jarras de 1 L
- Tablas de picar
- Coladores

- Bolsas de plástico de 1 Kg

3.3.1.3. Materiales de aluminio y acero inoxidable

- Ollas de 5 a 8 L
- Ollas de acero quirúrgico, marca Renaware
- Tazones de 5 y 10 L
- Cuchillos
- Cucharas

3.3.2. Equipos de laboratorio y/o proceso

- Viscosímetro Brookfield Pro-III
- Refractómetro Modell I CARLZEISS JENA DDR 810364
- Refrigeradora Coldex. Modelo:lp 10b. Rango temperatura de 0 a 20°C
- Estufa TOMOS ODHG – 9076^a Heating Drying Oven.
- Balanza analítica, marca OHAUS, modelo AP210S, de 0 - 210 g de cap. (USA).
- pH metro, marca Orión Reserarch, modelo 301-USA.

3.4. Métodos de análisis

3.4.1. Evaluación químico proximal y fisicoquímica

- Proteína, método Microkjendahl 976.05 AOAC (1997).
- Grasa, método Soxhlet 991.36 AOAC (1997).
- Fibra, método. AOAC (1995).
- Humedad, método 950.46AOAC (1995).
- Ceniza, método calcinación 923.03 AOAC (1995).
- Carbohidratos por diferencia de los demás análisis indicado AOAC (1997).
- Determinación de pH método de ITINTEC.
- Determinación de acidez Titulable, método ITINTEC (1975) Norma Nacional 201.07.
- Sólidos, solubles, método de refractometría (AOAC, 1997).

3.4.2. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se realizó usando una escala hedónica lineal de 10 cm, y el análisis estadístico mediante pruebas no paramétricas.

3.4.3. Evaluación reológica

Los análisis reológicos se realizaron por el método del viscosímetro Rotacional Brookfield (CARMONA, 2008). Utilizando el Reómetro Brookfield Pro-III y splinde N° 06.

3.5. Metodología

3.5.1. Determinación de parámetros para elaboración de mermelada

La mermelada de tuna se elaboró siguiendo las operaciones indicadas en la figura 2. Se evaluaron diferentes niveles de cáscara/pulpa (40/60,50/50,60/40) y porcentaje de pectina (0,5; 1%). La concentración final de la mermelada fue de 65°Brix. La determinación de los parámetros óptimos, se realizó por evaluación organoléptica.

3.5.2. Descripción del flujo de operaciones

- Recepción y pesado:

Se realizó el control visual de la materia prima, control de pesos y unidades de la fruta que fueron necesarios para cálculos de balance de materia.

- Lavado

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

- Pelado

Se realizó con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable haciendo dos cortes transversales a las puntas extremas del fruto y un corte longitudinal para separar la parte comestible del fruto y luego la parte interna comestible de la cáscara.

- Despepitado

Se efectuó manualmente utilizando un tamiz con la finalidad de retirar las pepas.

- **Mezclado**

En esta operación se realizó la mezcla cáscara interna / pulpa, azúcar invertida de acuerdo los porcentajes que se establecieron en el diseño experimental.

- **Concentrado**

Se realizó a temperatura de ebullición con la finalidad de eliminar agua mediante evaporación y adición de pectina hasta conseguir la concentración de 65° Brix.

- **Envasado/ Enfriado**

En envases de vidrio de 500 g y el enfriado a temperatura ambiente.

- **Almacenado**

El almacenamiento se realizó a las temperaturas de 30, 40 y 50°C y se evaluó reológicamente cada 10 días durante un mes.

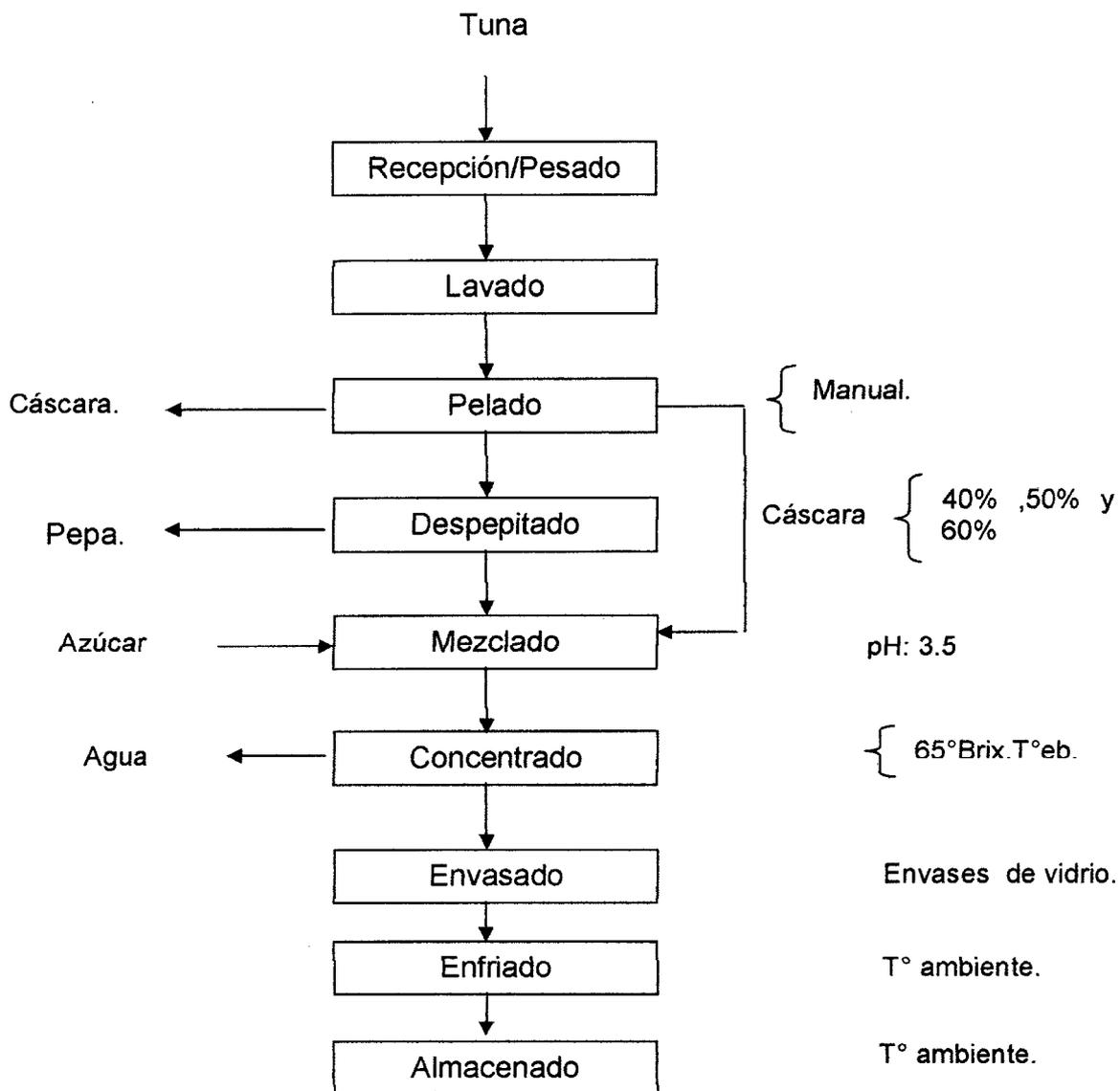


Figura 2. Diagrama de flujo tentativo para la elaboración de mermelada de tuna.

3.5.3. Evaluación organoléptica

La evaluación organoléptica se realizó mediante pruebas de aceptabilidad con 20 panelistas semi entrenados usando la escala hedónica lineal de 10 cm, y el análisis estadístico mediante pruebas no paramétricas, con Diseño Completo al Azar.

3.5.4. Evaluación reológica

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

También se evaluó la influencia de la temperatura en los parámetros reológicos de la mermelada.

3.5.5. 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, 40 y 50 °C, se realizó la evaluación reológica a los 10, 20 y 30 días determinándose para cada temperatura el orden de velocidad de reacción y su correspondiente constante de velocidad de reacción “ k ”, los cuales luego fueron relacionados, entre las diferentes temperaturas por la ecuación de Arrhenius.

IV. RESULTADOS

4.1. Composición químico proximal y fisicoquímica de la tuna

La composición químico proximal y fisicoquímica de la tuna (*Opuntia Ficus Indica*) analizada con tres repeticiones se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Composición de la tuna, por cada 100 g de parte comestible

Componente	Unidad	Valor
Humedad	%	82,47 ± 0,674
Proteína	%	1,74 ± 0,560
Ceniza	%	2,04 ± 0,136
Grasa	%	0,66 ± 0,005
Fibra	%	14,00 ± 1,265
Carbohidratos por diferencia	%	17,52 ± 0,673
° Brix		12,43 ± 0,513
pH		5,87 ± 0,015
Acidez total (ácido cítrico)	mg ácido cítrico	0,048

Los valores representan (promedio ±SEM) datos provienen del experimento (n=3) valores de una misma variedad.

4.2. Características físicas de la tuna

Las características físicas de la tuna analizadas con 3 repeticiones se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Características físicas del fruto de la tuna

Característica	Valor	Unidad
Peso	131,00 ± 4,031	g
Diámetro	18,00 ± 0,500	cm
Longitud	10,00 ± 0,629	cm
Cáscara	56,48 ± 1,651	%
Pepa	9,16 ± 1,646	%
Pulpa	34,53 ± 4,380	%

Los valores representan (promedio ±SEM) datos provienen del experimento (n=4) valores de una misma variedad.

4.3. Parámetros óptimos para la elaboración de mermelada de tuna

Los diferentes tratamientos elaborados con niveles de cáscara/pulpa de (40/60,50/50,60/40) y porcentaje de pectina (0,5 y 1%) a una concentración final de la mermelada de 65°Brix fueron sometidos a evaluación organoléptica por 20 panelistas semientrenados, el resultado fue analizado estadísticamente por la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis usando el Software Statgraphics Plus 5,1 el cual se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis estadístico de la evaluación organoléptica por Kruskal-Wallis para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	% cáscara	% Azúcar	% Pectina	Tamaño Muestra	Rank Promedio
T ₁	40	40	0,5	20	161,925
T ₂	40	40	1	20	209,625
T ₃	40	50	0,5	20	163,85
T ₄	40	50	1	20	179,425
T ₅	50	40	0,5	20	134,700
T ₆	50	40	1	20	147,075
T ₇	50	50	0,5	20	128,050
T ₈	50	50	1	20	128,725
T ₉	60	40	0,5	20	49,375
T ₁₀	60	40	1	20	55,100
T ₁₁	60	50	0,5	20	40,625
T ₁₂	60	50	1	20	47,525
Estadístico de prueba = 154,043		P _{valor} = 0,0			

Del Cuadro 7, se puede concluir que el $P_{\text{valor}}=0,0$ indica que hay diferencia altamente significativa entre los tratamientos, lo cual es corroborado con el ANVA correspondiente (Cuadro 8) que también tiene un valor de 0.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la evaluación organoléptica de los diferentes tratamientos.

F.V.	S.C	G.L.	C.M.	Fc	P- valor
Tratamiento	179,738	11	16,3398	34,67	0,0000
Error	107,449	228	0,471268		
Total	287,187	239			

La comparación de medias de los tratamientos se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Comparación de medias de los tratamientos por Tukey.

Trat	% cáscara	% Azúcar	% Pectina	N° Muestras	Promedio	Homoge neidad
T ₁₁	60	50	0,5	20	4,455	a
T ₁₂	60	50	1,0	20	4,550	a
T ₉	60	40	0,5	20	4,700	a
T ₁₀	60	40	1,0	20	4,775	a
T ₇	50	50	0,5	20	5,835	b
T ₈	50	50	1,0	20	5,850	bc
T ₅	50	40	0,5	20	5,910	bc
T ₆	50	40	1,0	20	6,045	bc
T ₃	40	50	0,5	20	6,355	bc
T ₄	40	50	1,0	20	6,360	bc
T ₁	40	40	0,5	20	6,555	cd
T ₂	40	40	1,0	20	7,270	d

Según la comparación de medias de Tuckey del cuadro 9, el mejor tratamiento es T2 el cual es estadísticamente igual que el tratamiento T1. El mejor tratamiento T2 corresponde a 40% de azúcar, 40% de cascara y 1% de pectina.

El análisis factorial de los datos que se realizó con la finalidad de ver los efectos de los diferentes factores se muestra en el cuadro 10.

Cuadro 10. Análisis factorial de los datos

F.V.	S.C.	GL	C.M.	F _c	P _{valor}
Factores:					
Azúcar	3,553	1	3,553	7,50	0,007
Cáscara	166,665	2	83,333	175,92	0,000
Pectina	3,408	1	3,408	7,19	0,008
Interacciones:					
Azúcar*Cáscara	0,508	2	0,254	0,54	0,586
Azúcar*Pectina	1,094	1	1,094	2,31	0,130
Cáscara*Pectina	3,009	2	1,505	3,18	0,044
Residual	108,95	230	0,474		
TOTAL	287,187	239			

Del cuadro 10 se puede observar que hay efecto altamente significativo de los tres factores azúcar, cáscara y pectina. También hay interacción significativa entre los factores cáscara y pectina ($P_{valor}=0,0436$), esto se debería a que la cascara proporciona pectina (TINEO, 2002), el cual interactúa con la pectina.

Con los datos obtenidos, el flujo óptimo para la elaboración de mermelada de tuna se muestra en la figura 3.

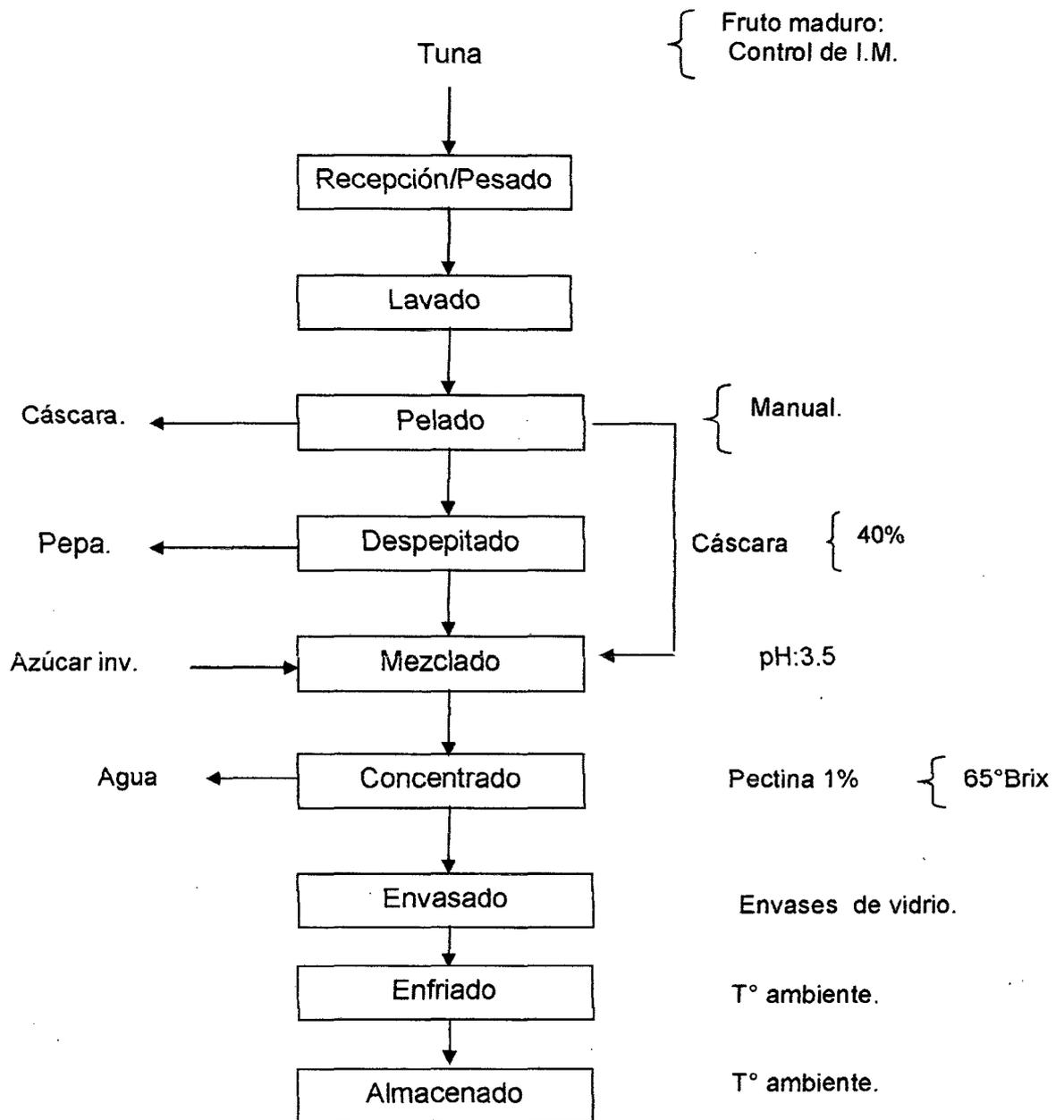


Figura 3. Diagrama de flujo definitivo para la elaboración de mermelada de tuna

4.4. 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, el cual se muestra en el cuadro 11.

Cuadro 11. Parámetros reológicos de los tratamientos

Tratamiento	% Cáscara	% Azúcar	% Pectina	Índice de flujo (n)	Índice de consistencia (m)
T ₁	40	40	0,5	0,3836	17,493
T ₂	40	40	1,0	0,3808	18,779
T ₃	40	50	0,5	0,3843	17,733
T ₄	40	50	1,0	0,3737	19,113
T ₅	50	40	0,5	0,3101	36,066
T ₆	50	40	1,0	0,3377	62,355
T ₇	50	50	0,5	0,3583	27,894
T ₈	50	50	1,0	0,3899	40,230
T ₉	60	40	0,5	0,2450	70,396
T ₁₀	60	40	1,0	0,2735	75,816
T ₁₁	60	50	0,5	0,3383	80,066
T ₁₂	60	50	1,0	0,3056	94,182

El reograma correspondiente del tratamiento de T2 se muestra en el gráfico 4. El ANVA para evaluar el efecto de los factores azúcar, cáscara y pectina en el índice de consistencia de la mermelada de tuna se muestra en el cuadro 12.

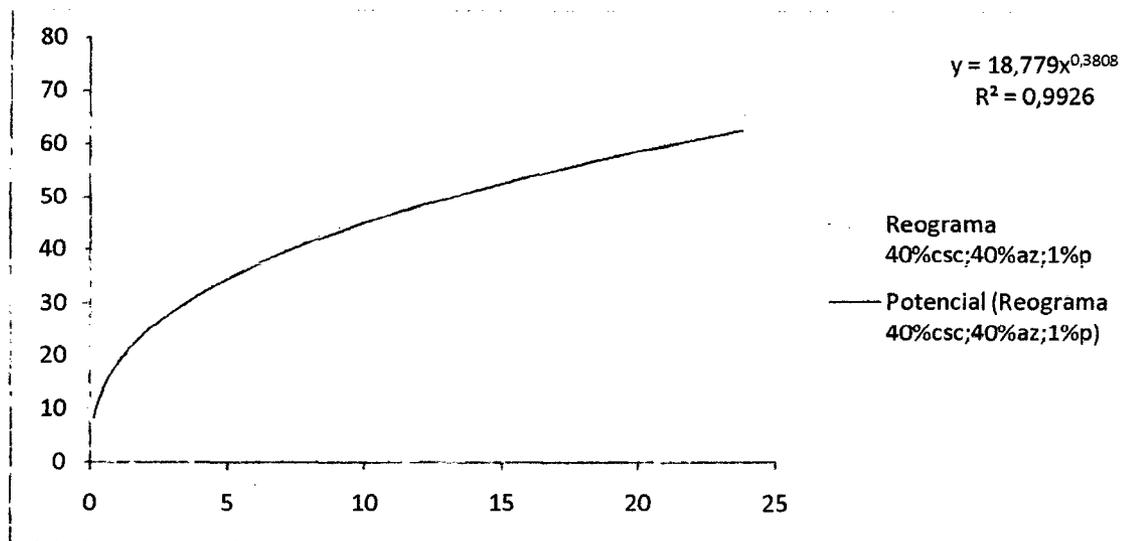


Figura 4. Reograma del mejor tratamiento de mermelada de tuna.

Cuadro 12. Análisis de varianza del efecto del contenido de azúcar, pectina y cáscara en la consistencia de la mermelada de tuna.

F.V.	S.C.	G.L.	C.M.	F.C	P Valor
Factores:					
Azúcar	0,2372	1	0,237164	0,01	0,9399
Pectina	308,327	1	308,327	9,44	0,0916
Cáscara	7799,71	2	3899,85	119,34	0,0083
Interacciones:					
Azúcar*pectina	2,2214	1	2,22138	0,07	0,8187
Azúcar*cáscara	425,827	2	212,913	6,52	0,1331
Pectina*cáscara	161,836	2	80,9182	2,48	0,2877
Residual	65,3575	2	32,6787		
TOTAL	8763,51	11			

Del análisis de varianza del cuadro 12, se comprueba que no existe efecto significativo del contenido de azúcar, ni el contenido de pectina en el índice de consistencia de la mermelada de tuna, pero sí, un efecto altamente significativo del contenido de cáscara en el índice de consistencia de la mermelada de tuna.

La comparación de medias del índice de consistencia con la prueba de comparación de Tuckey considerando los diferentes contenidos de cáscara en la mermelada de tuna, se muestra en el cuadro 13.

Cuadro13. Comparación de medias del índice de consistencia por diferentes niveles de cáscara, a nivel de 95%

% cascara	Cantidad	Tukey HSD		Grupos Homogéneos
		LS media	LS Sigma	
40	4	18,2795	2,85827	X
50	4	41,6362	2,85827	X
60	4	80,1150	2,85827	X

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 14 y la figura 5.

Cuadro 14. Relación entre índice de consistencia con la evaluación organoléptica.

Tratamiento	m	Evaluación Organoléptica
T11	80,066	4,455
T12	94,182	4,550
T9	70,396	4,700
T10	75,816	4,775
T7	27,894	5,835
T8	40,230	5,850
T5	36,066	5,910
T6	62,355	6,045
T3	17,733	6,355
T4	19,113	6,360
T1	17,493	6,550
T2	18,779	7,270

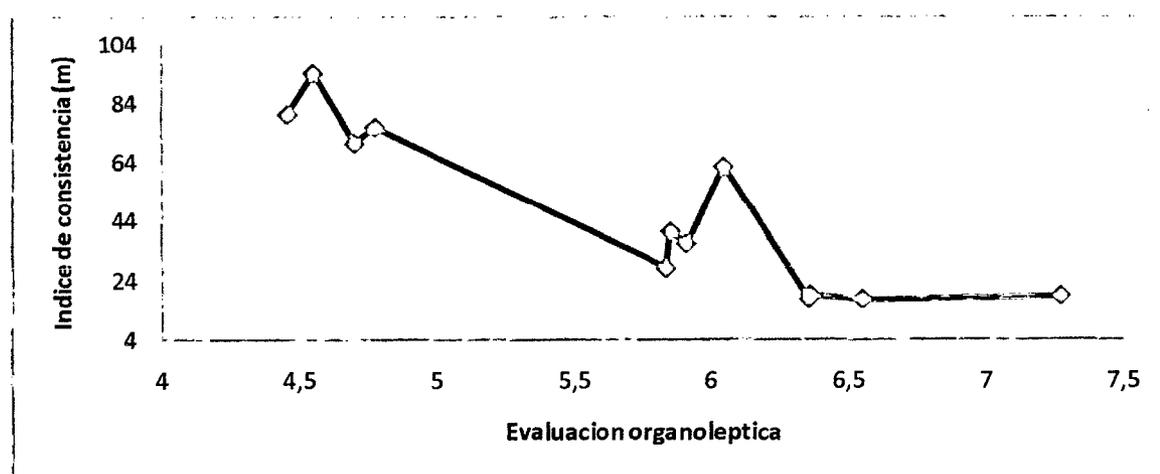


Figura 5. Relación entre índice de consistencia con la evaluación organoléptica para los diferentes tratamientos.

De la figura 5, se puede observar que existe una relación inversa entre el índice de consistencia y el resultado de la evaluación organoléptica.

4.5. Comportamiento reológico durante el almacenamiento

Los parámetros reológicos durante el almacenamiento se muestra en el cuadro 15 y los reogramas correspondientes en las figuras 6 al 14.

Los resultados y cálculos para el ajuste al modelo de ley de potencia se muestran en los anexos del A1 al A9.

Cuadro 15. Comportamiento reológico durante el almacenamiento

Temperatura	Días	n	m
30°C	10	0,440	21,39
	20	0,444	19,36
	30	0,453	17,48
40°C	10	0,444	17,05
	20	0,466	16,24
	30	0,424	15,7
50°C	10	0,425	16,7
	20	0,444	16,07
	30	0,440	15,7

Des cuadro 15 se puede observar que la mermelada de tuna tiene un comportamiento seudoplástico ($n < 1$) y la viscosidad disminuye en función del tiempo y la temperatura

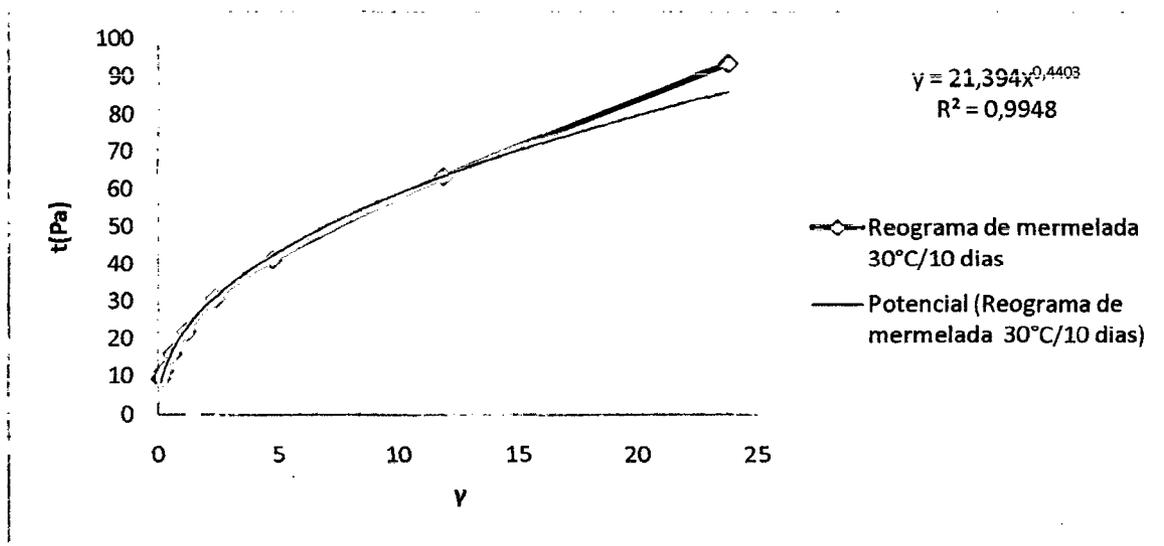


Figura 6. Reograma de la mermelada de tuna a 30°C durante 10 días.

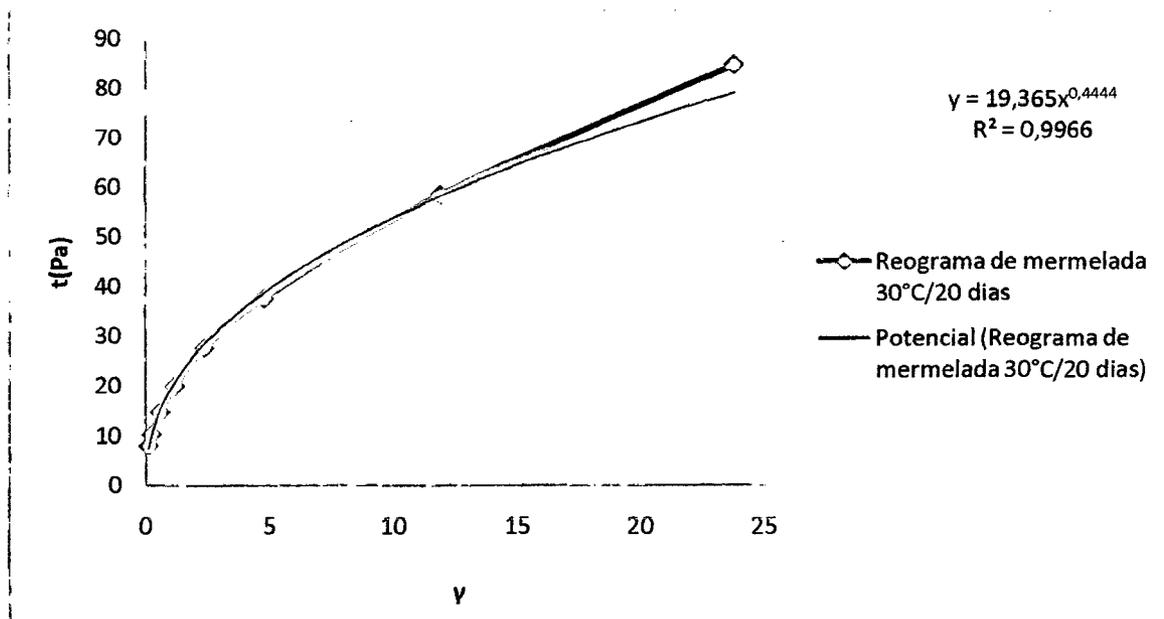


Figura 7. Reograma de la mermelada de tuna a 30°C durante 20 días.

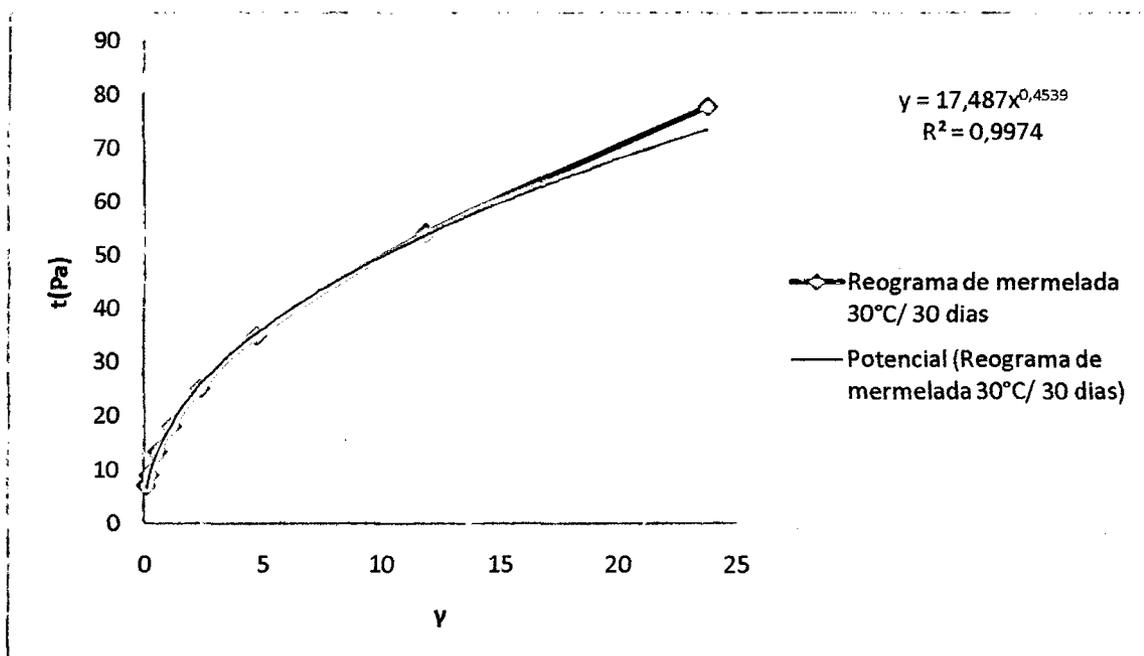


Figura 8. Reograma de la mermelada de tuna a 30°C durante 30 días.

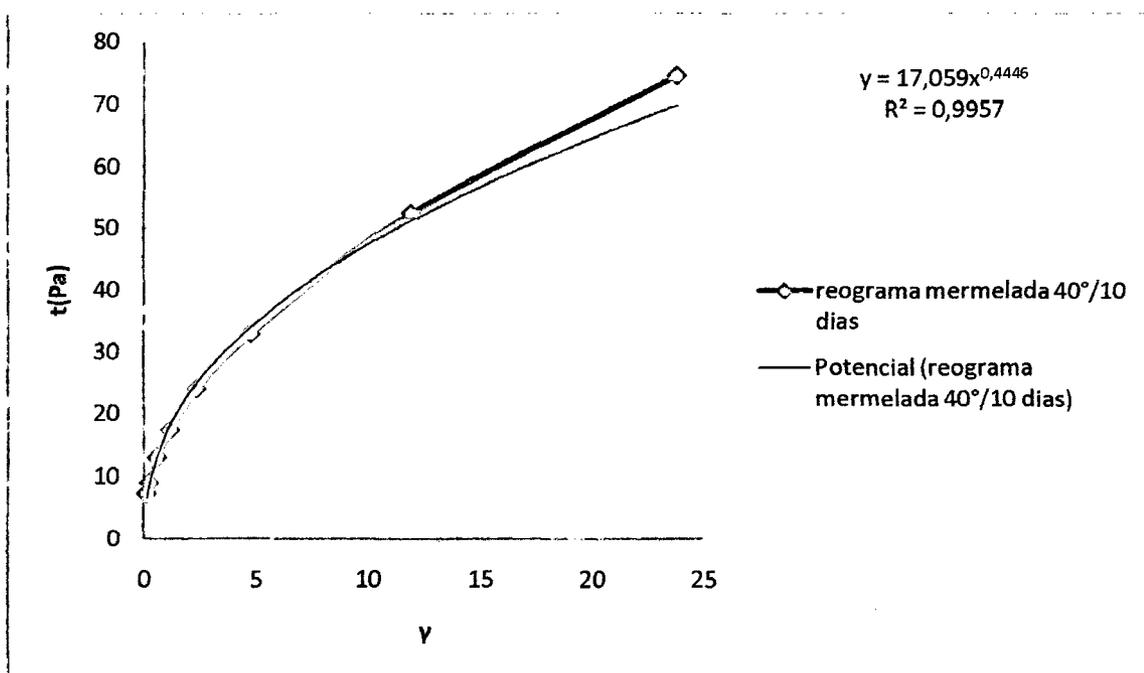


Figura 9. Reograma de la mermelada de tuna a 40°C durante 10 días.

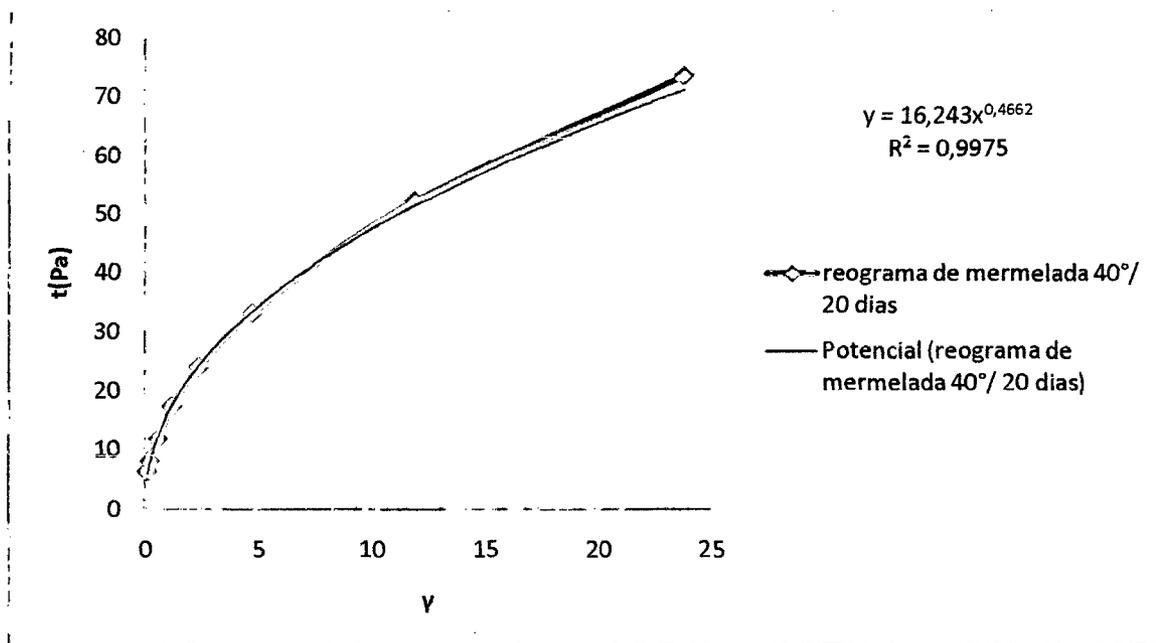


Figura 10. Reograma de la mermelada de tuna a 40°C durante 20 días.

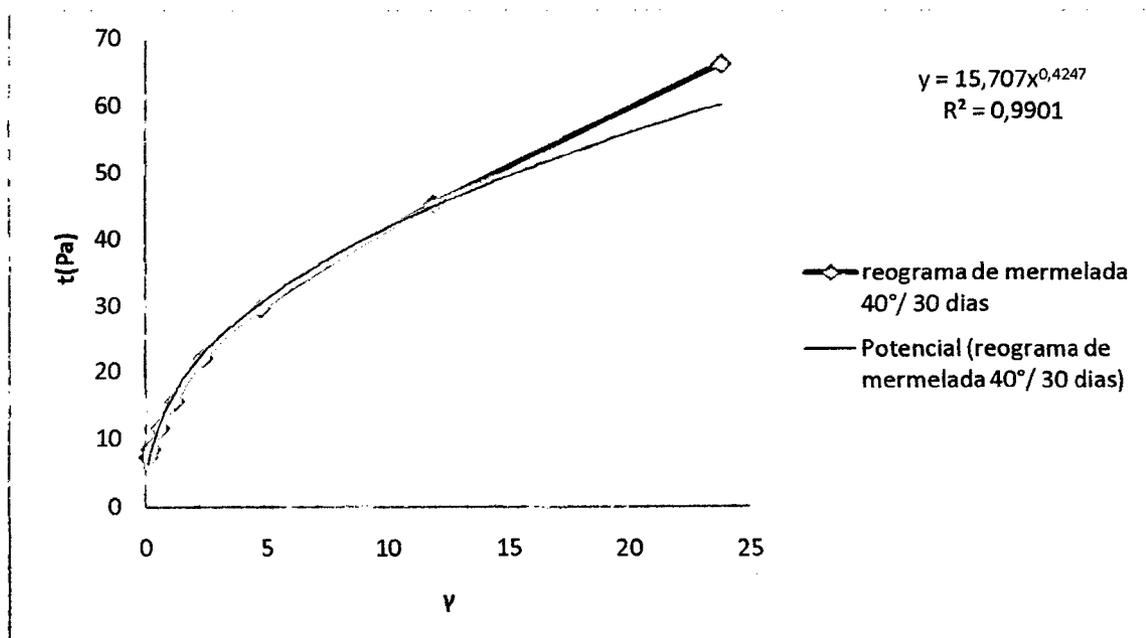


Figura 11. Reograma de la mermelada de tuna a 40°C durante 30 días.

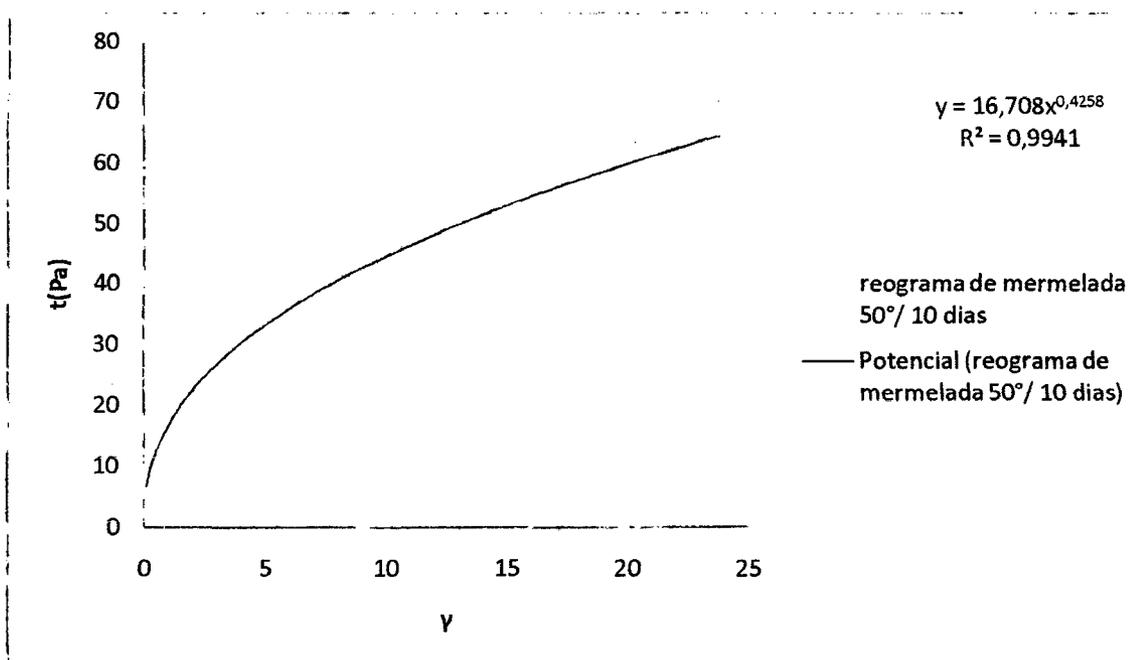


Figura 12. Reograma de la mermelada de tuna a 50°C durante 10 días.

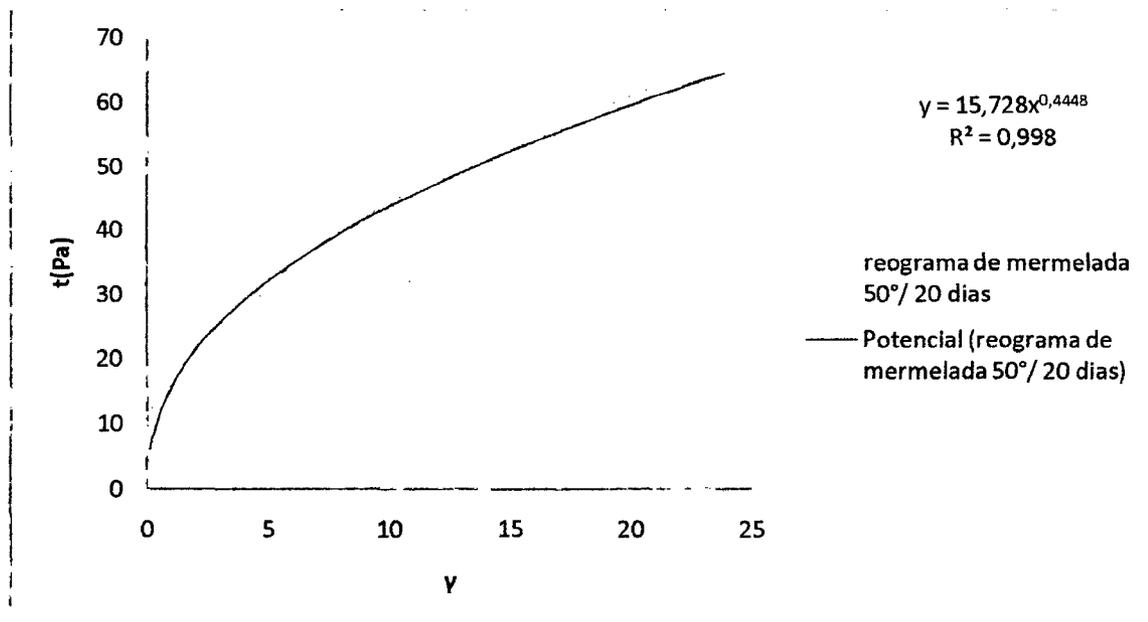


Figura 13. Reograma de la mermelada de tuna a 50°C durante 20 días.

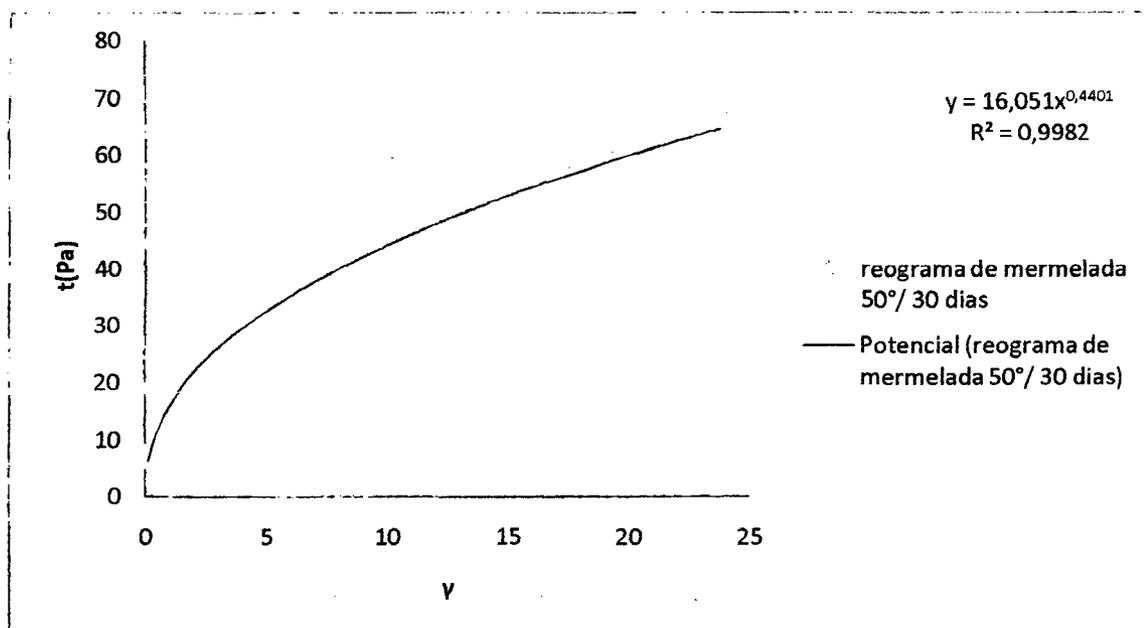


Figura 14. Reograma de la mermelada de tuna a 50°C durante 30 días.

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. Este método consiste en evaluar los valores de n (0 y 1.0) en la ecuación:

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

, con los valores experimentales regresionar y escoger el modelo que

mejor se ajuste en base al coeficiente de correlación (r^2).

Para el ajuste a orden cero, se elaboro el cuadro 16, luego regresionando al modelo de orden cero en la figura 15.

Cuadro 16. Índice de consistencia durante el almacenamiento a diferentes temperaturas, para evaluación en cinética de orden cero.

Días	m (30°C)	m (40°C)	m (50°C)
10	21,39	17,05	16,70
20	19,36	16,24	16,07
30	17,48	15,7	15,7

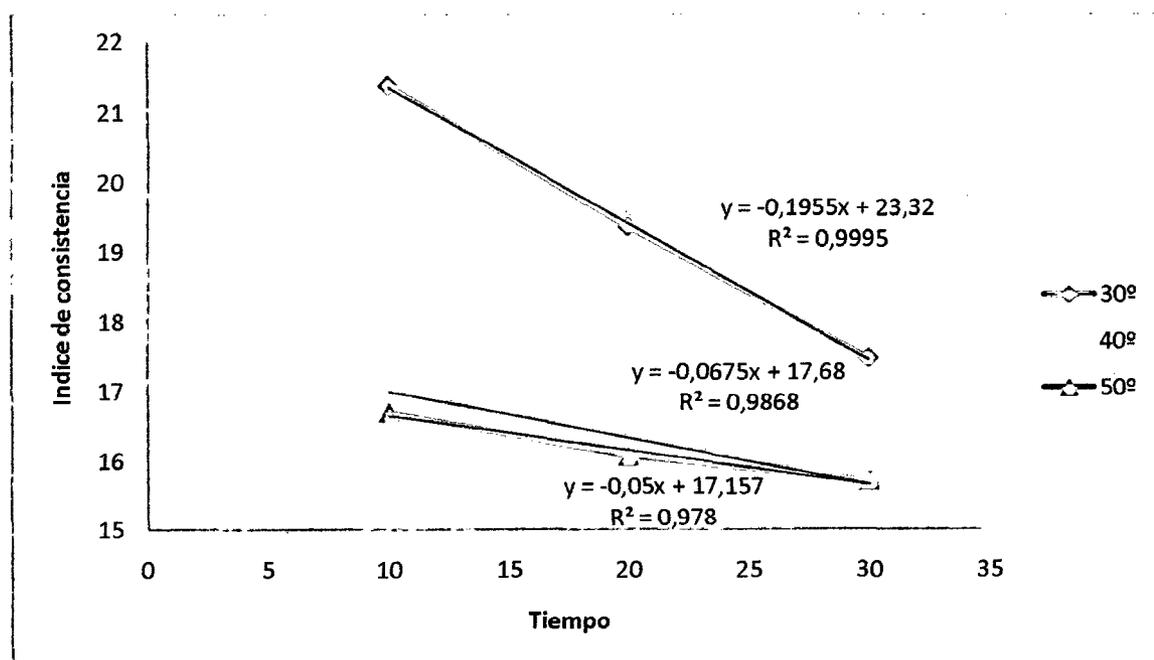


Figura 15. Variación de índice de consistencia con el tiempo de almacenamiento de la mermelada de tuna, ajustada a una cinética de orden cero.

De la figura 15, se obtiene las constantes de velocidad de reacción de orden cero a diferentes temperaturas: $K_{30^{\circ}\text{C}}=0,195$; $K_{40^{\circ}\text{C}}=0,067$; $K_{50^{\circ}\text{C}}=0,05$

Para el ajuste a la cinética de primer orden se elaboro el cuadro 17, la regresión correspondiente ajustando a la cinética primer orden se muestra en la figura 16.

Cuadro 17. Logaritmo del índice de consistencia (Ln m) a diferentes temperaturas.

Días	Ln m(30°C)	Ln m(40°C)	Ln m(50°C)
10	3,0629	2,8362	2,8154
20	2,9632	2,7875	2,7770
30	2,8611	2,7537	2,7537

De la figura 16 se obtiene las constante de velocidad de reacción de primero orden a diferentes temperaturas, $K_{30^{\circ}\text{C}}=0,01$; $K_{40^{\circ}\text{C}}=0,004$; $K_{50^{\circ}\text{C}}=0,003$

Los coeficientes de correlación son superiores 0,98, lo que indica que los valores experimentales se ajustan adecuadamente a la cinética de primer orden.

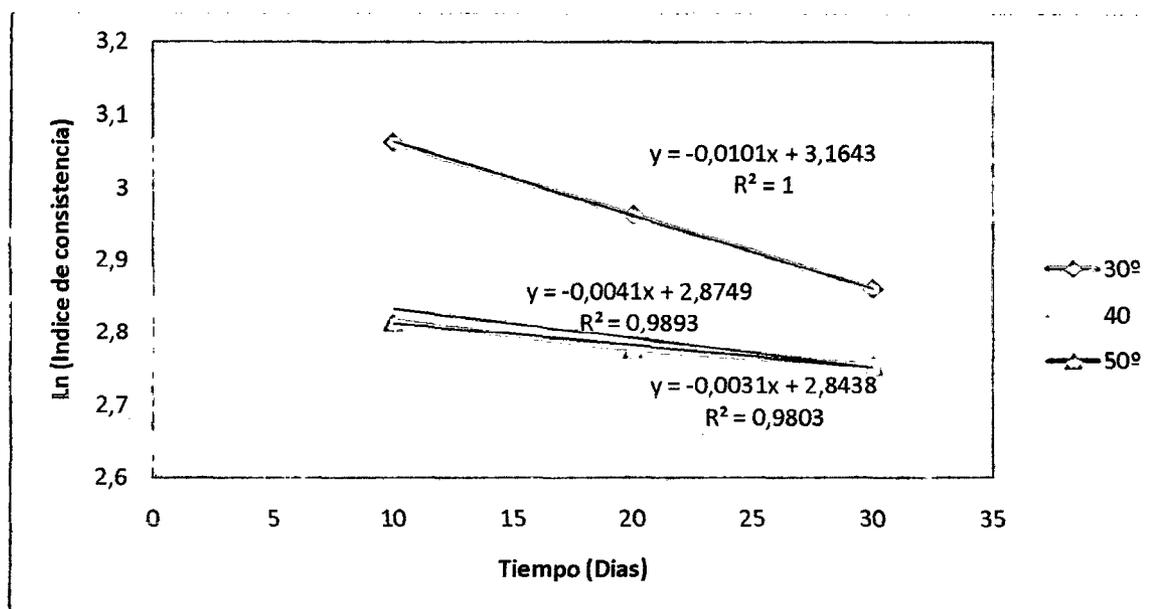


Figura 16. Variación del Ln del índice de consistencia con el tiempo de almacenamiento de la mermelada de tuna, ajustada a una cinética de primer orden.

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 18, el ajuste por regresión al modelo de Arrhenius, se muestra en las figuras 17 y 18.

Con los valores de regresión al modelo de Arrhenius se determinó la energía de activación E_a .

Cuadro 18. Constante de velocidad de reacción de la variación del índice de consistencia de mermelada de tuna.

Temperatura		Constante velocidad reacción (k)	
°K	1/°K	Orden Cero	Primer Orden
303	0,003300	0,195	0,010093
313	0,003195	0,067	0,004124
323	0,003096	0,050	0,003087

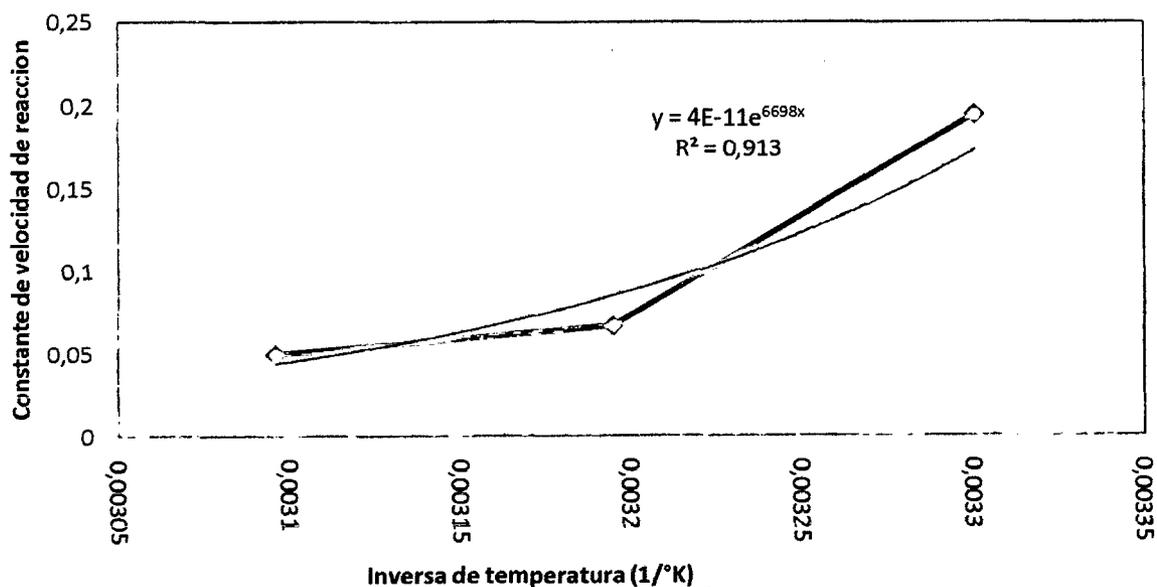


Figura 17. Relación de coeficiente de velocidad de reacción con la temperatura, ajustada a la ecuación de Arrhenius de orden cero.

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

$$K = 4(10^{-11})e^{6698/T}$$

$$\frac{Ea}{R} = \frac{Ea}{1,98717 \text{ cal. mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 6698$$

$$Ea = 13,31 \text{ Kcal/mol}$$

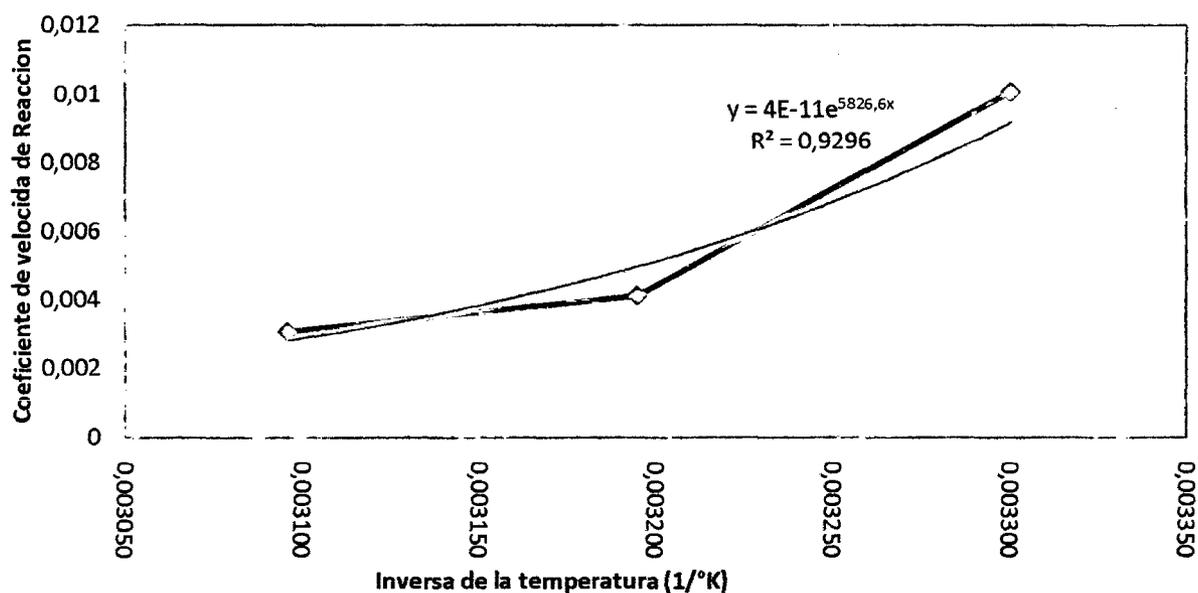


Figura 18. Variación del coeficiente de velocidad de reacción de primer orden, con la inversa de la temperatura ajustada a la ecuación de Arrhenius.

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

$$K = 4(10^{-11})e^{6698/T}$$

$$\frac{Ea}{R} = \frac{Ea}{1,98717 \text{ cal. mol}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 5826$$

$$Ea = 11,57725 \text{ Kcal/mol}$$

De acuerdo al valor del coeficiente de correlación (R^2) el que mejor se ajusta a los datos experimentales es la cinética a primer orden para las diferentes temperaturas, con la ecuación de regresión de la cinética a primer orden se obtiene la energía de activación. $E_a=11,57725$ Kcal/mol

V. DISCUSIÓN

5.1. De la composición química de la tuna

Se ha encontrado un contenido de proteína de 1,74%, valor similar a lo reportado por USDA (2006), quienes reportan 1,4 - 1,6 de proteína para la variedad verde.

El contenido de carbohidratos fue de 17,52%, ligeramente superior a lo reportado por USDA (2006), quienes reportan 12,3 % de carbohidratos, pudiendo deberse esto a la variedad con la que se trabajó.

El contenido de ceniza fue de 2,04%, valor superior a lo reportado por USDA (2006), quienes encontraron 1,64% de ceniza, pudiendo deberse esto a las condiciones del suelo y a la diferencia entre variedades estudiadas.

El contenido de grasa encontrado fue 0,66%, valor similar a lo reportado por USDA (2006), quienes hallaron un contenido de grasa de 0,7%.

El contenido de fibra encontrado de 14,0%, es superior a lo reportado por USDA (2006), quienes reportan un contenido de fibra de 10,6% para la variedad verde, pudiendo deberse esto a la diferente variedad con la que se trabajó.

REPO y ENCINA (2008) y CATALÁN (1994) obtuvieron humedades de 81,7 y 82,3 % respectivamente para la variedad blanca, similar a lo obtenido en

la presente investigación para la variedad morada con 82,47%. Por otro lado, USDA (2006) reporta un contenido de agua de 83,4% y MATOS y AGUILAR 79,4%, pudiendo deberse la diferencia entre los valores por la variedad estudiada.

El contenido de sólidos solubles fue de 12,43 °Brix, pH 5,87 y acidez 0,048% en ácido cítrico, estos datos son similares a los encontrados por Sepúlveda y Sáenz citados por SÁENZ (2006); REPO y ENCINA (2008) quienes reportan 13,2 - 13,8 °Brix, pH 6,37 y acidez total de 0,06 para la misma variedad. Por otro lado, MATOS y AGUILAR (2010) reportan 13 °Brix, estando dentro de los valores indicados.

Valladolid mencionado por CATALÁN (1994), indica que la madurez de la tuna para esta variedad puede ser relacionada con la densidad, esta debe ser 1,048 g/ml, por lo que se puede mencionar que el fruto se encontraba en estado maduro.

5.2. De la evaluación organoléptica de los tratamientos

El análisis estadístico de evaluación organoléptica se realizó mediante la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, como indica Ureña (1999), considerando que la evaluación se realizó con una escala lineal de 10 cm para obtener datos continuos y que se ajusten a la normalidad, se realizó también un ANVA, que reporta diferencia altamente significativa igual que la prueba no paramétrica. Este tipo de análisis paramétrico de ANVA y Tukey también fue

usado por SINGH *et al* (2000), para la viscosidad y análisis sensorial de mantequilla de palta.

Organolépticamente se determinó que el mejor tratamiento es T2, que consiste en 40% de cascara, 40% de azúcar y 1% de pectina.

De la comparación de medias mediante la prueba de Tukey (Cuadro 13), se deduce que los panelistas prefieren la mermelada con bajo contenido de cáscara.

Del análisis factorial de los datos se encuentra que los tres factores azúcar, cáscara y pectina tienen una influencia altamente significativa en la apreciación organoléptica de los panelistas, esto se debe a que estos factores afectan la consistencia y sabor de la mermelada (TINEO, 2002).

5.3. Evaluación reológica de los tratamientos

El valor de R^2 , del ajuste de datos a la ley de potencia es superior a 0,9 lo que indica que estos datos se ajustan al modelo indicado MONTGOMERY (2006).

El índice de consistencia varía de 17,493 Pa-sⁿ a 94,182 Pa-sⁿ; para los diferentes tratamientos; esta variación se debería a que la pectina adicionada y pectina de la cáscara tiene influencia en la viscosidad (TINEO, 2002).

GENOVESE y LOZANO (2000) encontraron que la viscosidad depende de la concentración de la pectina y relaciona con la siguiente ecuación.

$$\eta r = 1 + 14,5 \phi + 80,4 \left(\frac{\phi}{1 - \phi} \right)$$

El índice reológico se encuentra entre los valores de 0,2450 a 0,3899. IBARZ (2005) para mermelada de manzana reporta un índice de consistencia 222,90 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 tuna se encuentra entre estos valores.

Por otro lado, para 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 nuestra investigación, esto se debería al efecto de la concentración de sólidos.

Como se observa los valores de n en los gráficos 6 al 14 son menores a la unidad, indicando que la mermelada de tuna posee un comportamiento pseudoplástico. Rao, citado por ALVARADO y AGUILERA (2001), mencionan 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. De igual modo, puede observarse que estos datos se ajustan a la ley de la potencia ($R^2 > 0,9$), confirmando que el modelo de la ley de la potencia es adecuado para describir el flujo de pulpa de frutas en fluidos pseudoplásticos (ALVARADO, 2001).

SINGH *et al* (2000) encontraron que para mantequilla de palta el esfuerzo y la velocidad de corte se ajustan al modelo Herschel- Bulkley.

De la evaluación reológica se deduce que entre los factores evaluados: contenido de azúcar, pectina y cáscara, el porcentaje de cáscara tiene un efecto altamente significativo en el valor del índice de consistencia ($P_{\text{valor}}=0,0083$), es decir en la viscosidad de la mermelada, esto se debería al contenido de pectina en la cáscara.

No existe influencia del contenido inicial de azúcar en el índice de consistencia ($P_{\text{valor}}= 0,9399$) esto se debería a que todos los tratamientos fueron concentrados hasta 65° Brix, por lo tanto todas las muestras tuvieron aproximadamente la misma concentración de azúcar en la evaluación.

No se encontró diferencia estadística significativa del efecto de la pectina en el índice de consistencia pero se puede notar que numéricamente el índice de consistencia es mayor a 1% de pectina que a 0,5%, pero no es suficiente para diferenciar estadísticamente, esto se debería a que la concentración de cáscara que estadísticamente tiene un efecto altamente significativo influye en mayor proporción que la pectina adiciona, esto se debería al alto contenido de pectina en la cáscara.

Del cuadro 13, se puede notar que a mayor contenido de cáscara el índice de consistencia es mayor encontrándose que a niveles de 40 y 50 % son estadísticamente iguales y a 60 % es diferente.

De la relación existente entre el índice de consistencia y la evaluación organoléptica (Cuadro 14 y Figura 5), se puede encontrar que a medida que aumenta el porcentaje de cáscara, el índice de consistencia aumenta, pero la aceptación organoléptica disminuye; esto se debería a que la cáscara aumenta el contenido de pectina, por tanto aumenta la viscosidad, pero al mismo tiempo otros componentes, lo cual hace que el sabor cambie y esto es percibido por los panelistas.

La textura de los alimentos se halla principalmente determinada por el contenido en agua, grasa, 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).

5.4. De la evaluación durante el almacenamiento

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

Del cuadro 15, se puede observar que el índice de consistencia disminuye durante el almacenamiento, esto se debería al proceso de deterioro de las sustancias pécticas, la disminución de la viscosidad es mayor a mayor

temperatura, esto se debería a que la temperatura acelera el proceso de deterioro (LABUZA y SCHMILD, 1985).

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 (R^2) mayor a 0,97.

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 con el de Primer Orden con $R^2=0,929$, indicando además que existe influencia de la temperatura en el deterioro de la viscosidad durante el almacenamiento, obteniéndose el valor de energía de activación (E_a) de 11,57725 Kcal/mol.

VI. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- La tuna, variedad morada contiene 1,74% de proteína, 0,66%, 82,47% de humedad, 14% de fibra y 17,52% de Carbohidratos, 5,87 de pH y 0,048 de acidez total.
- Los parámetros adecuados para la elaboración de mermelada de tuna, evaluados organolépticamente fueron: 40% cáscara, 40% azúcar y 1% de pectina, existiendo efecto altamente significativo de los tres factores evaluados cáscara, azúcar y pectina con $P_{valor} < 0,05$.
- Todos los tratamientos tienen un comportamiento pseudoplástico, con índice reológico de 0,245 a 0,3899 e índice de consistencia entre 17,493 a 94,182 teniendo el mejor tratamiento un $n = 0,3808$ y $m = 18,779$.
- Existe efecto altamente significativo del porcentaje de cáscara en el índice de consistencia $P_{valor} = 0,0083$. Existe una relación inversa entre el índice de

consistencia y la apreciación organoléptica, debido a que el incremento de porcentaje de cáscara incrementa la viscosidad pero perjudica el sabor.

- Los valores del índice de consistencia durante el almacenamiento a diferentes temperaturas se ajustan adecuadamente a una ecuación de Orden Cero o de Orden Uno, siendo mejor el de Orden Uno con un $R^2 > 0,98$.
- El valor del coeficiente de velocidad de reacción (K) de la cinética de primer orden a diferentes temperaturas se ajusta al modelo de Arrhenius con $R^2 = 0,929$, obteniendo un valor de la energía de activación (Ea) de 11,57725 Kcal/mol.

VII. RECOMENDACIONES

Se plantean las siguientes recomendaciones:

- Estudiar la obtención de pectina de cáscara de tuna de las variedades existentes, para emplearse como insumo natural en la elaboración de mermeladas.
- Evaluar la variación de la viscosidad de la mermelada de tuna con la concentración de sólidos solubles.
- Realizar estudios de diseño de maquinarias para la producción a gran escala de mermelada de tuna.
- Realizar la simulación de la pérdida de viscosidad en mermelada, como índice de calidad durante el almacenamiento.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO J, AGUILERA J. 2001. Métodos para Medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos. España: Ed. Acribia.
- ALVARADO J. 1996. Principios de ingeniería aplicados a alimentos. Ecuador. 524 p.
- BADUI, S. 1997. Química de los Alimentos. Edit. Alambra mexicana, S.A. México. p. 259 – 265, 358 - 361.
- BADUI, S. 1988. Diccionario de tecnología de los alimentos. Edit. Alambra mexicana, S.A. México. 298 p.
- BARBOSA, G.; IBARZ, A ; PELEG, M. 1993. Propiedades reológicas de alimentos fluidos. Revisión Alimentaria. 241, 39-89.
- BARNES, H.. 2000. A handbook of elementary Rheology. University of Wales Press, Aberystwyth, 200 pp.
- 2001. An examination of the use of rotational viscometers for the quality control of non-newtonian liquid products in factories. Appl. Rheol. 11(2):82-101.
- BOLMSTEDT, U. 2000. Viscosity & Rheology Theoretical and practical considerations in liquid food processing. New food.

- CARMONA, A. 2008. Reología de los alimentos. Ediciones UNAS. Tingo María. 123 p.
- CATALÁN, A. 1994. Determinación del punto de congelación de la pulpa, calor específico y entalpia en trozos de tuna (*Opuntia ficus indica* Mill), variedad Blanca, durante su congelación. Trabajo de Grado [Ingeniero de Industrias Alimentarias]. Facultad de industrias Alimentarias. Universidad Nacional Agraria la Molina. 149.[consultado 19 noviembre 2010].
- CEREZAL P., DUARTE G. 2005. Utilización de cascaras en la elaboración de productos concentrados de tuna. Universidad de Antofagasta. Chile.
- CHHABRA, P. 2007. Bubbles, drops and particles in non-newtonian fluids. 2a ed., Taylor & Francis, Kanpur, India, 586 pp.
- CONDEÑA, A. 1997. Manejo integral de la tuna y cochinilla para los valles interandinos de la sierra peruana. Universidad de Huamanga.
- GENOVESE, D.; LOZANO, J. 2000. Effect of Cloud Particle Characteristics on the Viscosity of Cloudy Apple Juice. Institute of Food Technologists.
- DOUGLAS C. MONTGOMERY, GEORGE C. RUNGER. 2006. Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería - 817 páginas
- ESPINOZA, M.; FARCICH, R. ; CALCIN, P. 1996. El cultivo de la tuna e industrialización de la cochinilla. 2^{da} edición. ed.pacífico S.A.Lima, Perú. 95p.
- GAHONA, E. 2004. Introducción a la reología de alimentos. Editorial Limusa. México.

- GONZÁLEZ, L.; FILARDO, S.; BERNARDINO, AUREA. 2006 Elaboración de jaleas y mermeladas de cinco especies de tuna. Universidad autónoma del estado de Hidalgo.
- HERMIDA, R. 2000. Fundamentos de Ingeniería de procesos Agroalimentarios. Ediciones Mundi- prensa. Madrid. España.
- IBARZ, A. ; BARBOSA, G. 2005. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Ediciones mundi-prensa. Madrid. Barcelona. España.
- IBARZ, A; PAGAN, J; GARCIA, S. 2006. Aspectos reológicos de zumo y purés de fruta. Revista de tecnología e higiene de los alimentos. 370: 81 – 91.
- INGLESE, P.; CANTWELL, J. 1999. El cultivo de la tuna. Proyecto «Frutales de zonas áridas». FAO/TCP/ARG/8821 y Depto. de Agronomía y Agroindustrias de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina.
- LEWIS, S. 1993. Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado. España: Editorial Acribia. 494 p.
- LÓPEZ, MELVA.; MERCADO, J.; MARTINEZ., G.; CARRANCO, C. .; FLORES, M. 2007. Estudios preliminares para la optimización de mermelada a base de pulpa y cáscara de tunas variedades reina y xoconostle. Universidad de Guanajuato.
- MATOS, CH.; AGUILAR, A. 2010. Influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento Reológico de la pulpa de tuna (*Opuntia ficus Indica*). Ciencia y tecnología de alimentos.

- McCLEMENTS, J. 1999. Food emulsions: principles, practices and techniques. CRC Press. Florida, 356 pp.
- MEJIAS, J. 2002. Procedimiento para la obtención de zumo y producto resultante a partir de la *Opuntia ficus indica*. FCA. de la UNSCH.
- MEYER, M. 1996. Elaboración de frutas y hortalizas. 2da edición. México. Editorial Trillas (1996).
- MORAN, R. 1970. Perspectivas de la tuna (*Opuntia ficus Indica*) en el Perú. Seminario I presentado al programa académico de graduados, especialidad mejoramiento genético de las plantas. UNALM. Lima, Perú.
- LABUZA, T. ; SCHMILD. 1985. Accelerated Shelf-Life testing of Food J. Food Technology. 57 – 64 p.
- LABUZA, T. 2000. Accelerated shelf life testing of foods. Food Technology. 39 (9): 57
- RAMIREZ, 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..P,1- 47. Marcel dekker, Inc. nueva York.
- RAUCH, G. 1950. Fabricación de mermelada. Editorial acribia - Zaragoza (España).
- REGALADO M. ; NORIEGA R. 2008. Comportamiento reológico de un fluido. Instituto de Industrias, Universidad del Mar, Ciudad Universitaria, campus Puerto Ángel, 70902, Oaxaca, México.

- REPO Y ENCINA C. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Revista Sociedad química del Perú. Vol 74, no. 02: 108-124. [Consultado el 19 de noviembre del 2010]. Formato html. Disponibilidad libre en: <<http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810>
- REYES, J; AGUIRRE, J; CARLÍN, F. 2004. Análisis preliminar de la variación morfológica de treinta y ocho variantes mexicanas de opuntia ficus- indica. Eds. Esparza – frausto, G. Universidad Autónoma Chapingo.
- ROUDOT Y CLAUDE A. 2004. Reología y análisis de la textura de los alimentos. 1era edición. España: Editorial Acribia. 210 p
- ROSALES, H. 2001. Elaboración de mermeladas para pequeñas y microempresas agroindustriales. Lima, Perú: Unión Europea, CIED, EDAC, CEPCO. 36 pp.
- SÁENZ, C. 2006. Utilización Agroindustrial del Nopal. Boletín de servicios Agrícolas de la FAO no 162. Roma. ISSN 1020-4334.
- SHINH, S., CASTELL, M. ; MOREIRA, R. 2000. Viscosity and Textural Attributes of Reduced-fat Peanut Pastes. Institute of Food Technologists.
- STEFFE, J.F. 1996. Rheological Methods in Food Process Engineering, 2ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. 418 p.
- SUDZUKI, F.; MUÑOZ, C. ; BERGER, H. 1983. El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Departamento de Reproducción Agrícola. Universidad de Chile.
- TINEO, J. 2002. Evaluación y caracterización del banco nacional de germoplasma de tuna. FCA. de la UNSCH.
- USDA. 2006. National Nutrient Database for Standard Reference, N°19. EE.UU.

UREÑA, M.; D'ARRIGO, M. ; GIRÓN, A. 1999. Evaluación Sensorial.- Aplicación Didáctica. EDIAGRARIA. Lima – Perú. 197 p

ANEXO

A-I. Lecturas promedio a 30°C/ 10 Días.

RPM	Cp	pa-s	γ	t(Pa)
0,5	77500	77,5	0,119	9,2225
1	47750	47,75	0,238	11,3645
2.5	26775	26,775	0,595	15,931125
5	18350	18,35	1,19	21,8365
10	12950	12,95	2,38	30,821
20	8655	8,655	4,76	41,1978
50	5327,5	5,3275	11,9	63,39725
100	3930	3,93	23,8	93,534

A-II. Lecturas promedio a 30°C/ 20 Días.

RPM	Cp	pa-s	γ	t(Pa)
0,5	68000	68	0,119	8,092
1	43250	43,25	0,238	10,2935
2,5	24800	24,8	0,595	14,756
5	16750	16,75	1,19	19,9325
10	11575	11,575	2,38	27,5485
20	7900	7,9	4,76	37,604
50	4915	4,915	11,9	58,4885
100	3562,5	3.5625	23,8	84,7875

A-III. Lecturas promedio a 30°C/ 30 Días.

RPM	Cp	pa-s	γ	t(Pa)
0,5	60000	60	0,119	7,14
1	38250	38,25	0,238	9,1035
2,5	22400	22,4	0,595	13,328
5	15200	15,2	1,19	18,088
10	10525	10,525	2,38	25,0495
20	7337,5	7,3375	4,76	34,9265
50	4555	4,555	11,9	54,2045
100	3272,5	3,2725	23,8	77,8855

A-IV. Lecturas promedio a 40°C/ 10 Días

RPM	Cp	pa-s	γ	t(Pa)
0,5	60750	60,75	0,119	7,22925
1	37750	37,75	0,238	8,9845
2,5	21900	21,9	0,595	13,0305
5	14650	14,65	1,19	17,4335
10	10075	10,075	2,38	23,9785
20	6925	6,925	4,76	32,963
50	4415	4,415	11,9	52,5385
100	3132,5	3,1325	23,8	74,5535

A-V. Lecturas promedio a 40°C/ 20 Días.

RPM	Cp	pa-s	y	t(Pa)
0,5	54500	54,5	0,119	6,4855
1	34750	34,75	0,238	8,2705
2,5	19900	19,9	0,595	11,8405
5	14550	14,55	1,19	17,3145
10	10075	10,075	2,38	23,9785
20	6975	6,975	4,76	33,201
50	4405	4,405	11,9	52,4195
100	3092,5	3,0925	23,8	73,6015

A-VI. Lecturas promedio a 40°C/ 30 Días

RPM	Cp	pa-s	y	t(Pa)
0,5	61250	61,25	0,119	7,28875
1	35500	35,5	0,238	8,449
2,5	19450	19,45	0,595	11,57275
5	13100	13,1	1,19	15,589
10	9225	9,225	2,38	21,9555
20	6225	6,225	4,76	29,631
50	3810	3,81	11,9	45,339
100	2785	2,785	23,8	66,283

A-VII. Lecturas promedio a 50°C/10 Días.

RPM	Cp	pa-s	γ	t(Pa)
0,5	63500	63,5	0,119	7,5565
1	36500	36,5	0,238	8,687
2,5	20950	20,95	0,595	12,46525
5	15000	15	1,19	17,85
10	9900	9,9	2,38	23,562
20	6570	6,57	4,76	31,2732
50	4067,5	4,0675	11,9	48,40325
100	2885	2,885	23,8	68,663

A-VIII. Lecturas promedio a 50°C/20 Días

RPM	Cp	pa-s	γ	t(Pa)
0,5	54450	54,45	0,119	6,47955
1	34250	34,25	0,238	8,1515
2,5	20725	20,725	0,595	12,331375
5	13400	13,4	1,19	15,946
10	9797,5	9,7975	2,38	23,31805
20	6525	6,525	4,76	31,059
50	4015	4,015	11,9	47,7785
100	2790	2,79	23,8	66,402

A-IX. Lecturas promedio a 50°C/30 Días.

RPM	Cp	pa-s	Γ	t(Pa)
0,5	56250	56,25	0,119	6,69375
1	35250	35,25	0,238	8,3895
2,5	20950	20,95	0,595	12,46525
5	13875	13,875	1,19	16,51125
10	9875	9,875	2,38	23,5025
20	6600	6,6	4,76	31,416
50	4059,75	4,05975	11,9	48,311025
100	2807,5	2,8075	23,8	66,8185

A- X. Índice de consistencia de las mermeladas evaluadas a diferentes temperaturas de almacenamiento.

Temperatura	# día	m
30°C	10	21,394
30°C	20	19,365
30°C	30	17,487
40°C	10	17,059
40°C	20	16,243
40°C	30	15,707
50°C	10	16,708
50°C	20	15,728
50°C	30	16,051

A-XI. Cálculo para determinar la reacción de primer orden.

Ecuación de Arrhenius			
$1/T^{\circ}\text{K}$	$T^{\circ}\text{K}$	$T^{\circ}\text{C}$	K
0,00330033	303	30	0,01
0,00319489	313	40	0,004
0,00309598	323	50	0,002