

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA DE**  
**ALIMENTOS**



**“ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN REOLÓGICA DE**  
**MERMELADA DE NARANJILLA (*Solanum quitoense* Lam.)”**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**Presentado por:**

**OTINIANO VERDE JULISSA SELENE**

**Promoción 2009 - II**

**Tingo María – PERÚ**

**2017**

## **DEDICATORIA**

A mi amada madre, por todo el esfuerzo y sacrificio que hizo para lograr mi formación profesional, por inculcarme valores y enseñarme con el ejemplo a ser una persona de bien.

A mi amado esposo, con quien tengo la dicha de compartir de mi vida, por su amor y paciencia, por creer en mí motivándome a seguir adelante.

A mis hermanas, por su cariño incondicional, por su compañía y apoyo en todo este tiempo.

## **AGRADECIMIENTO**

- A Dios, por estar siempre a mi lado, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente para culminar esta etapa de mi vida.
- A mi familia, por sus consejos, por demostrarme su amor cada día y luchar junto a mí para cumplir mis metas.
- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, a la cual debo mi formación profesional.
- Al Ing. Jaime Eduardo Basilio Atencio, asesor de la tesis, por sus orientaciones y valioso aporte en el desarrollo de esta investigación.
- A los técnicos de laboratorio, por haberme brindado las facilidades necesarias para la ejecución de este proyecto, en especial al Sr. Pedro Jacinto Condori Miguel, por su apoyo sincero y desinteresado.
- A la Ing. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo, por su colaboración y presteza en todo momento.
- A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron con el logro de mis objetivos para la culminación de esta tesis.

## ÍNDICE GENERAL

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. La naranjilla ( <i>Solanum quitoense</i> Lam.).....	3
2.1.1. Definición.....	3
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	3
2.1.3. Origen y distribución.....	4
2.1.4. Variedades.....	6
2.1.5. Composición nutricional.....	8
2.1.6. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo.....	9
2.1.7. Características generales.....	9
2.1.8. Plagas y enfermedades.....	10
2.1.9. Usos e industrialización.....	11
2.2. La mermelada.....	12
2.2.1. Empleo de pectina.....	14
2.2.2. Empleo de ácido cítrico.....	16
2.2.3. Empleo de conservantes químicos.....	16
2.2.4. Defectos de la mermelada.....	17
2.3. Reología.....	19

2.3.1.	Viscosidad y factores que influyen en ella.....	19
2.3.2.	Clasificación de los fluidos.....	23
2.3.2.1.	Fluidos Newtonianos.....	23
2.3.2.2.	Fluidos no Newtonianos.....	24
2.3.2.2.1.	Independientes del tiempo.....	24
2.3.2.2.2.	Dependientes del tiempo.....	25
2.3.2.3.	Viscoelásticos.....	26
2.3.3.	Importancia de los estudios reológicos.....	26
2.3.4.	Medida de las características reológicas.....	27
2.3.4.1.	Equipos basados en el movimiento laminar del fluido en el interior de un tubo capilar.....	28
2.3.4.2.	Equipos basados en el cizallamiento de un fluido entre placas paralelas.....	29
2.3.4.3.	Equipos basados en el movimiento de un sólido o un fluido dentro del fluido problema.....	29
2.3.4.4.	Equipos basados en el movimiento rotacional de un fluido entre dos cuerpos de distintas geometrías.	29
2.3.4.5.	Equipos basados en la atenuación de un haz de ondas ultrasónicas en el interior de un fluido.....	30
2.3.4.6.	Equipos basados en la resistencia que opone el fluido a ser agitado en un proceso de mezclado simulado.....	30
2.3.4.7.	Equipos basados en el estudio óptico.....	30

2.4.	Estabilidad del alimento durante su almacenamiento.....	31
2.4.1.	Cinética de deterioro de los alimentos.....	32
2.4.1.1.	Efecto de la temperatura de almacenamiento.....	33
2.4.2.	Pruebas aceleradas.....	34
2.4.3.	Orden de reacción.....	35
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1.	Lugar de ejecución.....	40
3.2.	Materia prima e insumos.....	40
3.2.1.	Materia prima.....	40
3.2.2.	Insumos.....	40
3.3.	Materiales y equipos de laboratorio y/o proceso.....	41
3.3.1.	Materiales de laboratorio y/o proceso.....	41
3.3.1.1.	Materiales de vidrio.....	41
3.3.1.2.	Materiales de aluminio y acero inoxidable.....	41
3.3.2.	Equipos de laboratorio y/o proceso.....	41
3.4.	Metodología experimental.....	42
3.4.1.	Determinación de parámetros para la elaboración de mermelada de naranjilla.....	42
3.4.2.	Evaluación sensorial.....	43
3.4.3.	Evaluación reológica.....	44
3.4.4.	Evaluación en el almacenamiento.....	44
3.4.4.1.	Evaluación del color.....	45
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1.	Parámetros para la elaboración de mermelada de naranjilla.....	47

4.2. De la evaluación reológica de los tratamientos.....	55
4.3. Relación entre el la evaluación reológica y la evaluación sensorial.	58
4.4. De la evaluación reológica en el almacenamiento.....	64
4.4.1. De la evaluación del color.....	75
V. CONCLUSIONES.....	94
VI. RECOMENDACIONES.....	96
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
ANEXO.....	104

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Árboles frutales en forma dispersa, por tamaño de las unidades agropecuarias, según nombre, número de árboles y de unidades agropecuarias. Total Nacional, 2012.....	5
2. Árboles frutales en forma dispersa, por tamaño de las unidades agropecuarias, según nombre, número de árboles y de unidades agropecuarias. Departamento de Pasco, 2012.....	5
3. Composición química de 100 g de pulpa de naranjilla.....	8
4. Principales plagas y el daño que causan al cultivo de naranjilla.....	11
5. Aplicación de equipos reológicos en función del tipo de fluidos.....	31
6. Reacciones de pérdida de calidad que siguen cinéticas de orden cero y de primer orden.....	37
7. Energías de activación típicas.....	38
8. Comparación de medias de los diferentes tratamientos para el atributo textura.....	48
9. Comparación de medias de los diferentes tratamientos para el atributo apariencia general.....	49
10. Comparación de medias de la concentración de pulpa:azúcar para el atributo textura.....	50

11. Comparación de medias de la concentración de pulpa:azúcar para el atributo apariencia general.....	51
12. Valores promedio de índice de consistencia (m), índice reológico (n) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ).....	55
13. Comparación de medias de la concentración de pulpa:azúcar, para el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.....	56
14. Comparación de medias de la concentración de pectina, para el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.....	57
15. Relación entre la evaluación sensorial del atributo textura y la evaluación reológica.....	58
16. Ecuaciones de la variación del índice de consistencia en función de la concentración de pectina, para los diferentes niveles de pulpa:azúcar.....	63
17. Valores promedio de índice de consistencia (m) e índice reológico (n) de la mermelada de naranjilla, almacenada a diferentes temperaturas.....	65
18. Índice de consistencia de la mermelada de naranjilla en almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.....	69
19. Índice de consistencia de la mermelada de naranjilla en almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.....	70
20. Coeficiente de velocidad de reacción (K) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para órdenes de reacción cero y uno.....	71
21. Coeficientes de velocidad de reacción (K) de la pérdida de textura de mermelada de naranjilla.....	72
22. Comparación de medias del tiempo de almacenamiento, para el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.....	74

23. Comparación de medias de la temperatura de almacenamiento, para el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.....	74
24. Variación de los parámetros R, G y B de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas.....	76
25. Fotografías de la variación del color de la mermelada de naranjilla, almacenada a diferentes temperaturas.....	78
26. Parámetro R de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.....	80
27. Parámetro R de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.....	81
28. Parámetro R de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de segundo orden.....	82
29. Parámetro G de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.....	83
30. Parámetro G de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.....	84
31. Parámetro G de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de segundo orden.....	85
32. Coeficiente de velocidad de reacción (K) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para órdenes de reacción cero, uno y dos; del parámetro R.....	86
33. Coeficiente de velocidad de reacción (K) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para órdenes de reacción cero, uno y dos; del parámetro G.....	86
34. Coeficientes de velocidad de reacción (K) de la variación de color de mermelada de naranjilla, respecto al parámetro R.....	87

35. Coeficientes de velocidad de reacción (K) de la variación de color de mermelada de naranjilla, respecto al parámetro G.....	89
36. Comparación de medias del tiempo de almacenamiento, para el parámetro R.....	91
37. Comparación de medias de la temperatura de almacenamiento, para el parámetro R.....	91
38. Comparación de medias del tiempo de almacenamiento, para el parámetro G.....	92
39. Comparación de medias de la temperatura de almacenamiento, para el parámetro G.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Prueba de Kruskal Wallis respecto a la variable consistencia para mermelada de naranjilla con diferentes concentraciones de papa china y pectina.....	16
2. Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido newtoniano.....	24
3. Cambio en la calidad Vs. el tiempo: efecto del orden de la reacción.....	36
4. Diseño experimental para la determinación de los parámetros adecuados en la elaboración de mermelada de naranjilla.....	43
5. Flujograma definitivo para la elaboración de mermelada de naranjilla.....	52
6. Reograma del mejor tratamiento de mermelada de naranjilla.....	56
7. Relación entre la evaluación sensorial del atributo textura y la evaluación reológica.....	58
8. Relación entre índice de consistencia y evaluación sensorial del atributo textura, con respecto a la concentración de pulpa:azúcar.....	59
9. Relación entre índice de consistencia y evaluación sensorial del atributo textura, con respecto a la concentración de pectina.....	60
10. Relación entre concentración de pectina y evaluación sensorial del atributo textura.....	61

11. Relación entre concentración de pectina e índice de consistencia de los diferentes tratamientos de mermelada de naranjilla.....	62
12. Relación entre índice de consistencia y evaluación sensorial del atributo apariencia general.....	64
13. Reograma de mermelada de naranjilla antes del almacenamiento.....	66
14. Reograma de mermelada de naranjilla a 40 °C a los 40 días.....	66
15. Reograma de mermelada de naranjilla a 53 °C a los 40 días.....	67
16. Reograma de mermelada de naranjilla a 60 °C a los 40 días.....	67
17. Índice de consistencia de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.....	69
18. Índice de consistencia de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.....	70
19. Relación del coeficiente de velocidad de reacción (K) de primer orden con la inversa de la temperatura.....	72
20. Variación del parámetro B de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas.....	77
21. Parámetro R Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.....	80
22. Parámetro R Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.....	81
23. Parámetro R Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de segundo orden.....	82
24. Parámetro G Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.....	83

25. Parámetro G Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.....	84
26. Parámetro G Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de segundo orden.....	85
27. Relación del coeficiente de velocidad de reacción (K) de orden cero con la inversa de la temperatura, para el parámetro R.....	88
28. Relación del coeficiente de velocidad de reacción (K) de orden cero con la inversa de la temperatura, para el parámetro G.....	89

## RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar los parámetros para elaborar mermelada de naranjilla, realizar la evaluación reológica de los tratamientos y relacionarla con la evaluación sensorial y, evaluar su estabilidad reológica y del color durante el almacenamiento mediante pruebas aceleradas.

Para determinar los parámetros adecuados para la elaboración de mermelada de naranjilla, se evaluaron concentraciones de pulpa:azúcar (50:50 y 60:40) y pectina (0%; 0,25%; 0,50%), definiendo el mejor tratamiento mediante evaluación sensorial. La mermelada de naranjilla presentó un comportamiento pseudoplástico (índice reológico  $< 1$ ), con índice de consistencia ( $m$ ) en el rango de 34,126 a 83,160 Pa.sn. El mejor tratamiento fue 50:50 (pulpa:azúcar) y 0% pectina. Las concentraciones de pulpa:azúcar y pectina tuvieron un efecto altamente significativo sobre  $m$ . Existe una correlación inversa de  $m$  con la apreciación sensorial del atributo textura.

En el almacenamiento, las pruebas aceleradas fueron conducidas a 40, 53 y 60 °C, evaluando por 40 días los parámetros reológicos y los parámetros de color R, G y B. La cinética de deterioro por pérdida de textura fue de primer orden, con energía de activación ( $E_a$ ) = 3,696 kcal/mol. La cinética de deterioro por variación del color para los parámetros R y G fue de orden cero. La  $E_a$  para el parámetro R fue 6,132 kcal/mol y para el parámetro G fue 7,680 kcal/mol. Se encontró que el tiempo y la temperatura tuvieron un efecto altamente significativo sobre  $m$  y el color de la mermelada de naranjilla.

## I. INTRODUCCIÓN

La naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) es una fruta exótica originaria de la región interandina comprendida entre Perú, Ecuador y Colombia. Posee un gran potencial nutritivo que no ha sido valorado en su verdadera dimensión. En nuestro país, aún no se desarrolla su cultivo a gran escala, debido probablemente a la falta de promoción y difusión de sus bondades y al desconocimiento de las prácticas culturales adecuadas.

Se consume generalmente en jugos, sin embargo, ya que posee excelentes características sensoriales se puede elaborar una amplia gama de productos tales como mermelada, yogurt, helado, conserva, licor, pulpa congelada, entre otros. Sumado a ello, la rápida y continua producción del cultivo, la convierten en una opción atractiva para la industria de alimentos.

Resulta necesario por lo tanto, contar con la información pertinente de las propiedades reológicas de dichos productos para su elaboración a nivel industrial; tal es el caso de la mermelada de naranjilla, cuya información será una herramienta muy valiosa en el diseño de las maquinarias y equipos que permitirán su industrialización. Asimismo, el conocimiento del comportamiento reológico es de gran utilidad en el control de calidad de productos terminados e intermedios y en su evaluación durante el almacenamiento.

Con esta investigación se dará a conocer la tecnología del proceso de elaboración de mermelada de naranjilla y las características reológicas de la misma. De este modo, se estaría impulsando el aprovechamiento de esta fruta exótica, como alternativa a las frutas tradicionales en la elaboración industrial de un producto ampliamente consumido en los hogares como es la mermelada.

Por lo expuesto, se detallan los objetivos de la presente investigación:

- Determinar los parámetros adecuados para la elaboración de mermelada de naranjilla.
- Realizar la evaluación reológica de la mermelada de naranjilla a diferentes concentraciones de pulpa, azúcar y pectina y relacionarla con la evaluación sensorial.
- Evaluar la estabilidad de la mermelada de naranjilla en el almacenamiento, mediante pruebas aceleradas a diferentes temperaturas (40, 53 y 60 °C) y determinar los parámetros de cinética de deterioro.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. La naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.)

#### 2.1.1. Definición

La naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) es una planta semisilvestre perteneciente a la familia Solanaceae (DURÁN, 2009). Toma ese nombre por su identificación como “naranja chiquita” (MAG-IICA, 2001 citado por NAVARRETE, 2014), debido a la forma redondeada y al color naranja brillante cuando el fruto está totalmente maduro (TOBARU y DÍAZ, 2006).

La naranjilla también es conocida como Lulo, Naranjillo, Berenjena de Olor, Toronja, Chipiguaba (DURÁN, 2009), Naranjita o Quito quito (TOBARU y DÍAZ, 2006).

#### 2.1.2. Clasificación taxonómica

De acuerdo a Terranova (2005) citado por LAHUATTE (2013), la naranjilla se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino	: Vegetal
Subreino	: Espermatophyta
División	: Angiosperma
Subdivisión	: Dicotiledonea

Clase	: Simpetala
Subclase	: Pentacíclica
Orden	: Tubiflorales
Familia	: Solanaceae
Género	: Solanum
Especie	: Quitoense

### **2.1.3. Origen y distribución**

La naranjilla es originaria de los bosques húmedos del subtrópico, en las vertientes oriental y occidental de la Cordillera de los Andes perteneciente a Perú, Ecuador y Colombia (Heiser y Anderson, 1999 referidos por FORY, 2005). Posteriormente la planta se ha distribuido a nuevas zonas que presentan condiciones ecológicas similares a su hábitat nativo, tales como las tierras altas de Panamá, Costa Rica y Guatemala (Vivar, 1968 citado por NAVARRETE, 2014).

HIDALGO (2012) menciona que en la actualidad este frutal se cultiva de manera comercial en Ecuador y Colombia, mientras que en Perú, Panamá, Costa Rica y Honduras se hace en pequeña escala.

Según MINAGRI (2017), la producción de naranjilla en nuestro país se desarrolla sólo en el departamento de Pasco, tal como se observa en los Cuadros 1 y 2; donde se presenta la producción total nacional y la producción en el departamento de Pasco, respectivamente.

**Cuadro 1.** Árboles frutales en forma dispersa, por tamaño de las unidades agropecuarias, según nombre, número de árboles y de unidades agropecuarias. Total Nacional, 2012.

Nombre, número de árboles frutales y de unidades agropecuarias	Total	Tamaño de las unidades agropecuarias con tierras (ha)								
		Menores de 0,5	De 0,5 a 0,9	De 1,0 a 2,9	De 3,0 a 4,9	De 5,0 a 9,9	De 10,0 a 19,9	De 20,0 a 49,9	De 50,0 a 99,9	De 100,0 a 499,9
<b>Quito quito (o naranjilla)</b>										
Número de unidades agropecuarias	<b>53</b>	1	4	18	7	1	4	12	4	2
Cantidad de árboles	<b>2584</b>	50	138	703	88	4	193	978	320	110

Fuente: MINAGRI (2017).

**Cuadro 2.** Árboles frutales en forma dispersa, por tamaño de las unidades agropecuarias, según nombre, número de árboles y de unidades agropecuarias. Departamento de Pasco, 2012.

Nombre, número de árboles frutales y de unidades agropecuarias	Total	Tamaño de las unidades agropecuarias con tierras (ha)								
		Menores de 0,5	De 0,5 a 0,9	De 1,0 a 2,9	De 3,0 a 4,9	De 5,0 a 9,9	De 10,0 a 19,9	De 20,0 a 49,9	De 50,0 a 99,9	De 100,0 a 499,9
<b>Quito quito (o naranjilla)</b>										
Número de unidades agropecuarias	<b>53</b>	1	4	18	7	1	4	12	4	2
Cantidad de árboles	<b>2584</b>	50	138	703	88	4	193	978	320	110

Fuente: MINAGRI (2017).

#### 2.1.4. Variedades

Las principales variedades comerciales de naranjilla son las siguientes:

- **Agria:** El fruto es redondo, ligeramente achatado en los polos, de color anaranjado y corteza delgada; pulpa verde y sabor ácido, resistente al transporte. La planta es susceptible a nemátodos y perforadores del tallo y el fruto (Carrera, 2009 referido por LAHUATTE, 2013; GALLOZZI y DUARTE, 2007; MAG Ecuador, 1963).

- **Dulce:** El fruto es de forma redonda, de color rojo a anaranjado y de tamaño grande comparado con la variedad agria. La pulpa tiene sabor dulce. La corteza es más gruesa, pero menos resistente al transporte y almacenamiento. La planta es delicada y susceptible al ataque de insectos (GALLOZZI y DUARTE, 2007; MAG Ecuador, 1963). Otra característica que la diferencia de la variedad agria es que tiene más desarrollada la base del pedúnculo en su unión con el fruto (Carrera, 2009 citado por LAHUATTE, 2013).

- **Espinosa:** Corresponde a *Solanum quitoense*, Lam. Var. Septentrionale. La planta posee muchas espinas. El fruto es pequeño y con vellosidades, tiene la pulpa amarilla e insípida (MANTILLA, 2008).

- **Híbrido “Puyo”:** Desarrollado en Ecuador. Es un híbrido obtenido por cruzamiento de la naranjilla variedad agria (*S. quitoense* Lam. var. quitoense) con la cocona (*Solanum sessiliflorum*). Este híbrido se parece más a la cocona (GALLOZZI y DUARTE, 2007). Es tolerante a varios problemas fitosanitarios. La semilla es infértil y se reproduce únicamente por vía

vegetativa (Carrera, 2009 referido por LAHUATTE, 2013). Esta variedad es altamente productiva (Torre y Camacho, 1981 citados por FORY, 2005). Sin embargo, tiene la desventaja de producir frutos demasiado pequeños (Heiser, 1993 referido por FORY, 2005).

- **Híbrido “INIAP Palora”**: Desarrollado en Ecuador. Con frutos grandes, de forma esférica, ligeramente achatada. Epidermis rojiza cuando el fruto está maduro, la pulpa es amarillenta y de sabor ácido. Sus semillas son infértiles. Resistente al manipuleo y transporte gracias al espesor de la corteza (INIAP, 2010 citado por HIDALGO, 2012). Según Heiser (1993) citado por FORY (2005), el jugo empieza a oxidarse pasadas las 24 horas de su preparación, mucho más tarde que el jugo preparado con el híbrido Puyo, pese a ello, esta variedad es menos aceptada por el consumidor debido a la coloración de la pulpa; ya que la prefieren de color verde.

- **Híbrido “La Selva”**: Desarrollado en Colombia. Es una planta sin espinas, tolerante a nemátodos, que se puede sembrar a libre exposición solar, de frutos medianos, pulpa de color verde, con buen sabor y aroma y, con vellosidades en el fruto de fácil desprendimiento (Lobo, 2000 citado por FORY, 2005).

Otras variedades (MAG / IICA, 2001):

- Baeza
- Bola
- Baeza roja

### 2.1.5. Composición nutricional

SICA (2001) citado por MANTILLA (2008) señala que la naranjilla no sólo es una fruta exótica de sabor especial y apetecido, sino que también cuenta con cualidades nutricionales que la convierten en una fruta con un gran potencial de comercialización en los mercados internacionales.

Esta fruta climatérica (INIAP, 2010 referido por HIDALGO, 2012) posee un alto contenido de agua, proteínas, fibra y carbohidratos; además de ser una excelente fuente de Vitaminas A y C, calcio y fósforo (CATOTA, 2011). En el Cuadro 3 se puede observar su composición química.

**Cuadro 3.** Composición química de 100 g de pulpa de naranjilla.

Componente	Unidad	Pulpa pura
Valor energético	Cal	28,0
Proteína	g	0,7
Grasa	g	0,1
Carbohidratos	g	6,8
Fibra	g	0,4
Ceniza	g	0,6
Vitamina A	mg	50,0
Tiamina	mg	0,6
Riboflavina	mg	0,4
Niacina	mg	1,5
Ácido ascórbico	mg	65,0
Calcio	mg	8,0
Fósforo	mg	14,0
Hierro	mg	0,4

Fuente: INIAP (2003) citado por HIDALGO (2012); GALLOZZI y DUARTE (2007).

### **2.1.6. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo**

La naranjilla crece entre los 1200 a 2400 m.s.n.m., siendo favorable para su desarrollo temperaturas de 16 - 24 °C, no prospera bien por debajo de 10 °C ni sobre los 30 °C, tampoco tolera heladas. No soporta encharcamientos; sin embargo, es una planta exigente de humedad (TOBARU y DÍAZ, 2006), siendo necesaria una precipitación anual de 1500 a 3000 mm bien distribuidos y una humedad relativa de 80%. Asimismo, la luminosidad debe ser escasa, por lo que debe ser cultivada en sitios sombreados (Lobo y Medina, 2000 referidos por FORY, 2005; DURÁN, 2009).

Tolera gran variedad de suelos, pero se desarrolla mejor en suelos francos con pH 5,5 - 6,5; con abundante materia orgánica y bien drenados (LAHUATTE, 2013; DURÁN, 2009; TOBARU y DÍAZ, 2006). MAG Ecuador (2001) citado por MIRANDA (2012) sostiene que debido al gran tamaño de las hojas y las ramas quebradizas, la planta no resiste lugares ventosos.

### **2.1.7. Características generales**

La naranjilla es una planta arbustiva, que puede llegar a alcanzar, según la calidad del suelo, hasta 2 m de altura en el caso de la naranjilla común y hasta 1,30 m en el caso de los híbridos (INIAP, 2010 citado por HIDALGO, 2012).

Esta planta se encuentra en una etapa intermedia del proceso de domesticación. Lo anterior se fundamenta en el hecho de que la planta posee una serie de características correspondientes a individuos clasificados como "maleza-silvestre" (Lobo, 2000 referido por FORY, 2005). DURÁN (2009) afirma

que dentro de estas características se pueden citar: frutos con un elevado número de semillas; porque la dispersión de semillas es ineficiente, latencia en las semillas, antocianinas en la planta, espinas en tallos y hojas, presencia de tricomas en los frutos y, posición de las hojas en ángulos hacia abajo para realizar mejor la fotosíntesis.

Los frutos son esféricos o achatados de 4 a 8 cm de diámetro y un peso de 80 a 150 g. La corteza es lisa o con vellosidades (dependiendo de la variedad), de color amarillo intenso, amarillo rojizo o naranja en la madurez. Estas vellosidades o tricomas que cubren el fruto son de color amarillo intenso o amarillo rojizo, que se desprenden a medida que el fruto madura. La pulpa es verdosa (ANGULO, 2006), jugosa y de sabor agridulce, con un pH que varía de 3,6 a 4,0 en estado maduro. El interior del fruto está dividido en cuatro secciones casi simétricas, en los tabiques están sujetas las semillas; pudiendo encontrarse entre 1000 a 1200 semillas por fruto, las cuales tienen una buena cantidad de aceite (MAG Ecuador, 1963).

La planta se propaga por semilla, estacas, injerto o por cultivo de tejidos (ANGULO, 2006), alcanzando la fructificación entre los 10 y 12 meses y se mantiene en producción de 2 a 4 años, generando hasta 135 frutos por planta por año (SICA, 2001 citado por MANTILLA, 2008).

#### **2.1.8. Plagas y enfermedades**

El cultivo es susceptible a plagas y enfermedades, las cuales se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Principales plagas y el daño que causan al cultivo de naranjilla.

Plaga	Daño que ocasiona
Gusano perforador del fruto ( <i>Neoleucinodes elegantalis</i> )	Perfora el fruto y provoca posteriormente su caída en cualquier estado de madurez.
Barrenador del tallo ( <i>Alcidion</i> sp.)	Daña el cilindro central; la planta se seca y los frutos se caen.
Nemátodos ( <i>Meloidogyne incognita</i> )	Lesiona raíces formando nódulos o agallas. Provoca menor tamaño de la planta; amarillamiento, marchitamiento de las hojas y la muerte de la planta.
Marchitez vascular ( <i>Fusarium oxysporum</i> )	Coloración oscura del sistema vascular en forma de anillos. Marchitez ascendente y general de la planta.
Lancha o Tizón tardío ( <i>Phytophthora infestans</i> )	Pudrición del cuello y marchitamiento de brotes.
Antracnosis ( <i>Colletotrichum gloesporioides</i> )	Mancha necrótica oscura que afecta tallos, flores, frutos provocando su momificación y caída.
Pudrición bacteriana ( <i>Clavibacter michiganensis</i> )	Pudrición acuosa, maloliente; provoca la marchitez y muerte de la planta.

Fuente: Ochoa y Gallegos (2012) citados por GUAYASAMÍN (2015); Fiallos (2000) referido por CALPA (2015).

### 2.1.9. Usos e industrialización

- **Consumo:** A nivel mundial tiene gran demanda por considerarla una fruta exótica, siendo útil en la elaboración de refrescos, jugos, pulpa congelada, concentrados, helados, mermeladas, conservas, como aromático. Se utiliza como ingrediente para salsas de platos gourmet, ensalada de frutas y vegetales o como decoración (INIAP, 2010 citado por HIDALGO, 2012). El jugo

puede ser fermentado para la preparación de licores, también se puede congelar mitades o trozos de naranjilla bajo el proceso IQF (Individual Quick Freezing) (MAG/SIGAGRO referido por JARA, 2011). Puede almacenarse como fruta fresca por 1 a 2 meses a temperaturas entre 7 – 10 °C y 70 – 80% HR (IICA Nicaragua, 2007; TOBARU y DÍAZ, 2006).

- **Salud:** DURÁN (2009) manifiesta que a la naranjilla se le reconocen propiedades diuréticas y tonificantes. El jugo actúa como solvente de toxinas presentes en el organismo, facilita la eliminación del ácido úrico en el torrente sanguíneo. CATOTA (2011) indica que el consumo frecuente de naranjilla ayuda a conciliar el sueño, alivia los síntomas de enfermedades nerviosas por ser una fuente importante de fósforo y vitamina A. Colabora en la formación del cabello, uñas y huesos fuertes. El ácido que contiene disminuye en forma moderada los niveles altos de colesterol, es beneficioso para depurar la sangre. Adicionalmente a ello, estimula las defensas del organismo, protege las arterias, mantiene tersa y sana la piel y es efectiva para combatir enfermedades como la gripe.

- **Cosmético:** El jugo puro de la naranjilla se usa para dar brillo al cabello, sin embargo aún se requiere de investigación (CATOTA, 2011).

## 2.2. La mermelada

La mermelada de frutas es el producto de consistencia pastosa o gelatinosa, obtenido por la cocción y concentración de frutas sanas, limpias y adecuadamente preparadas, con edulcorantes y con o sin la adición de agua. La fruta puede estar entera, en trozos, en tiras o en partículas finas; las cuales

deben estar uniformemente dispersas en todo el producto (COLQUICHAGUA, 2005).

Durante la elaboración de mermelada, los tejidos de la fruta se ablandan, absorbiendo azúcares y liberando pectina y ácidos. A causa de la presencia de los ácidos y de la elevada temperatura, ocurre la parcial inversión de los azúcares (MEYER, 1996).

MADRID (2013) indica que con la cocción se consigue la destrucción de mohos y levaduras, a la vez que el azúcar penetra en la fruta, pudiendo realizarse esta operación en un recipiente abierto (trabajando a presión atmosférica) o cerrado (trabajando a presión o bajo vacío). Durante la cocción se evapora parte del agua, logrando obtener en el producto final una graduación de 65 °Brix.

Algunas frutas son muy propensas a la oxidación, tal es el caso de la naranjilla (GALLOZZI y DUARTE, 2007; MAG / IICA, 2001), por lo cual, previo a la operación de pelado se debe realizar el blanqueado de la fruta con la finalidad de evitar este fenómeno. En el caso particular de la naranjilla, el blanqueado se debe llevar a cabo por un tiempo no menor de 10 minutos; actuando a la vez como coadyuvante del pelado, pues con este tratamiento térmico la corteza se desprende más fácilmente (GALLOZZI y DUARTE, 2007).

RAUCH (1970) asevera que la calidad de una mermelada se mejora sustituyendo, entre 5 - 15% de azúcar por glucosa; la cual aporta un aspecto más brillante, reduce el sabor dulce de la mermelada, retarda la cristalización de la sacarosa e impide la exudación del jarabe.

### 2.2.1. Empleo de pectina

Según RAUCH (1970), la consistencia de la mermelada puede ajustarse aumentando o disminuyendo la cantidad de pectina. No obstante, la formación de gel tiene lugar dentro de cierto límite en la concentración de hidrogeniones, siendo óptimo un pH de 3 para las mermeladas. Por encima del pH 3,4 no ocurre la formación del gel y, con una acidez más elevada de la debida se ve afectada la elasticidad dando como resultado un producto duro o la destrucción de la estructura, causando sinéresis (“sangrado”). Pese a ello, GUEVARA (2015) recomienda para las mermeladas valores de pH que oscilen entre 3,3 y 3,8 por obtenerse un producto más aceptable sensorialmente logrando un buen equilibrio entre el dulzor y la acidez.

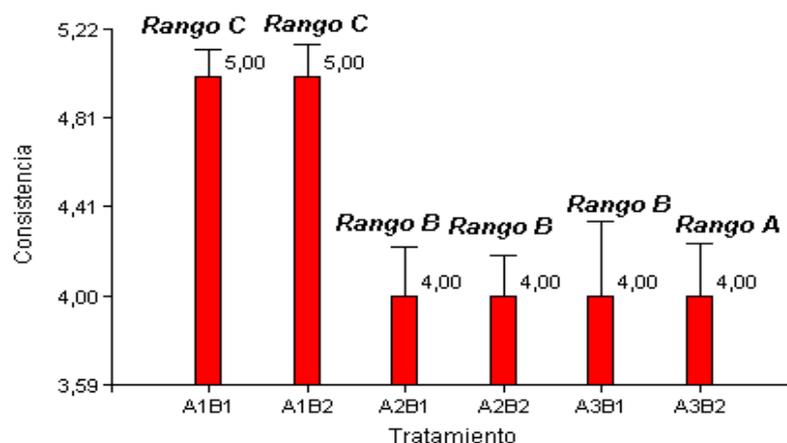
La pectina puede solidificar una masa que contiene 65% de azúcares y hasta 0,8% de ácidos. Gracias a la adición de pectina y ácidos también se obtiene una mejor calidad en el producto terminado y se reducen los tiempos de cocción, que a su vez, ayuda a preservar las sustancias volátiles (MEYER, 1996).

Un calor excesivo y/o prolongado destruye las propiedades gelatinizantes de la pectina, por lo cual debe ser añadida al final de la cocción (RAUCH, 1970); aproximadamente cuando la mermelada llegue a la concentración de 62 °Brix ó 5 minutos antes de retirarla del fuego (GUEVARA, 2015). La cantidad necesaria de pectina dependerá de la cantidad y calidad de pectina propia de la fruta, de la formulación del producto, del contenido final en sólidos solubles, entre otros factores (RAUCH, 1970).

MEYER (1996) indica que 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 propia de la fruta. La característica de solidificarse, en presencia de azúcar y ácido, se aprovecha particularmente en la elaboración de productos como mermelada y jalea. GALLOZZI y DUARTE (2007) señalan que con algunas frutas no se requiere la adición de este insumo; como en el caso de la naranjilla.

HIDALGO (2012), en su investigación “Elaboración de mermelada de naranjilla (*Solanum quitoense*) con adición de diferentes niveles de papa china (*Colocasia esculenta*) y pectina en el Cantón Pastaza, provincia de Pastaza”, señala que en la evaluación sensorial mediante prueba hedónica de aceptación y rechazo para el atributo consistencia, los tratamientos A1B1 (100% naranjilla y 0,25% pectina) y A1B2 (100% naranjilla y 0,5% pectina), tuvieron una mayor aceptación de los jueces, ya que presentan mayor firmeza comparado con los demás tratamientos. La pectina depende de las concentraciones de azúcar y ácido, por lo que al sustituir el azúcar que aporta la naranjilla por el almidón de la papa china, la pectina se ve afectada, formando un gel débil. Sin embargo este defecto puede ser remediado reajustando el pH a un valor inferior.

En la Figura 1 se presenta los resultados de la evaluación sensorial para el atributo consistencia, de la mermelada de naranjilla con diferentes concentraciones de papa china y pectina.



**Figura 1.** Prueba de Kruskal Wallis respecto a la variable consistencia para mermelada de naranjilla con diferentes concentraciones de papa china y pectina.

### 2.2.2. Empleo de ácido cítrico

Según GUEVARA (2015), la incorporación de ácido cítrico en la mermelada se realiza con el objetivo de conseguir la inversión del azúcar (sacarosa) en glucosa y fructosa, logrando que el azúcar no vuelva a cristalizarse. Esto es muy importante, porque si el azúcar no se llega a invertir lo suficiente se puede volver a cristalizar en la mermelada.

Se puede adicionar al inicio, al intermedio o al final del proceso de cocción, dependerá de la fruta y del método de concentración que se emplee. Si la fruta no fuera ácida es preferible su incorporación desde el inicio para facilitar la inversión del azúcar.

### 2.2.3. Empleo de conservantes químicos

GUEVARA (2015) recomienda añadir el conservante químico al final del proceso de cocción, basándose en el hecho de que durante la concentración, parte del conservante puede ser arrastrado por los vapores de

agua y con ello su acción se vería reducida, y al adicionarlo al final del proceso de concentración contribuye con la separación de la espuma que podría formarse.

#### **2.2.4. Defectos de la mermelada**

La mermelada al ser un producto que está sujeto a un número elevado de factores variables, está expuesta a errores en la fabricación originando defectos en el producto terminado, los cuales se describen a continuación: (COLQUICHAGUA, 2005; RAUCH, 1970 y MEYER, 1996)

- **Mermelada poco firme:** La cocción prolongada causa la hidrólisis de la pectina, dando un producto con una consistencia similar al jarabe. Una acidez excesiva, causa la sinéresis de la mermelada. Una acidez demasiado baja impide la formación de gel. Demasiado azúcar en relación a la pectina. Excesivo enfriamiento antes del envasado, originando la “ruptura de gel”.

- **Sinéresis (“llanto o sangrado”):** Es causada por una acidez excesiva, poca cantidad de pectina (deficiencia), exceso de agua o por una inversión excesiva del azúcar.

- **Cambio de color:** Se manifiesta por una cocción prolongada a causa de la caramelización del azúcar. La cocción prolongada afecta también a la clorofila, que se vuelve parda. Al emplear pulpa descolorida, observado con frecuencia cuando se utiliza pulpa de fresas mal limpiadas; haciéndose evidente la pérdida de color sólo después de la cocción. Insuficiente enfriamiento después del envasado, al llenar envases grandes. Contaminación

con metales, produciendo oscurecimiento o aspecto lechoso. Los daños mecánicos o la madurez excesiva de la fruta causan pardeamiento.

- **Cristalización de azúcares:** Es provocado por una insuficiente inversión de la sacarosa debido a una acidez demasiado baja. En el caso contrario, si la acidez es muy elevada, se provoca una excesiva inversión del azúcar dando lugar a la granulación de la dextrosa. Asimismo, la cocción prolongada o la permanencia de la mermelada en la paila después de terminada la cocción, causa la granulación de la dextrosa por una inversión excesiva del azúcar. Por demora en el cierre del envase.

- **Endurecimiento o encogimiento de la fruta:** Se genera por el empleo de agua dura en el proceso o por un insuficiente blanqueado de la fruta (pre-cocción), conllevando al endurecimiento de la piel.

- **Desarrollo de mohos y levaduras:** Es causado por el empleo de envases no herméticos o contaminados, mermelada poco firme, bajo contenido en sólidos solubles, excesiva humedad en el almacenamiento o por llenado de los envases a una temperatura muy baja.

- **Caramelización de los azúcares:** Se produce tras una cocción prolongada y por un enfriamiento lento en la misma paila de cocción.

Según CHEFTEL y CHEFTEL (1976), la caramelización también se llama “pardeamiento no enzimático”, “reacción de Maillard” o “formación de malonoidinas”; esta última palabra designa, de forma general, los pigmentos pardos o negros resultantes de las reacciones de pardeamiento no enzimático.

El pardeamiento no enzimático se presenta durante los procesos tecnológicos o el almacenamiento. Hay diversos factores físicos y químicos que

afectan no sólo a la velocidad sino también a la naturaleza de las reacciones de pardeamiento, uno de ellos es la temperatura. El pardeamiento no enzimático se acelera por las temperaturas elevadas y por tanto se acusa especialmente durante las operaciones de cocción, pasteurización y deshidratación.

### **2.3. Reología**

La reología es la ciencia que estudia las deformaciones de la materia. Estos estudios están muy desarrollados en el dominio de los materiales. Se puede decir que la reología alimentaria es, por lo tanto, la extensión de esta noción a los productos alimentarios.

Muchos alimentos presentan propiedades de líquidos, ya que no resisten esfuerzos de cizalladura; tal es el caso de la leche, la miel, el aceite, la mantequilla, etc. Estos productos se transportan a menudo mediante bombeo siendo necesario conocer lo más claramente posible su comportamiento en situación de flujo, y por tanto, su viscosidad (ROUDOT, 2004).

#### **2.3.1. Viscosidad y factores que influyen en ella**

La viscosidad es la resistencia interna que experimenta un fluido, oponiéndose al movimiento, al ser sometido a un esfuerzo cortante (Medina, 1995 referido por CARMONA, 2007). Se ve afectada por algunas operaciones unitarias que implican: calentamiento, enfriamiento, homogenización y concentración (Lewis, 1993 citado por CARMONA, 2007).

- **Efecto de la temperatura:** En los líquidos, la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura; si la temperatura se incrementa, la

viscosidad disminuye. Por ejemplo, la viscosidad de la miel es de unos 100000 cP a 15 °C, 40 000 a 20 °C y 20 000 a 25 °C (EARLE, 1979). En el caso de los gases, la viscosidad es directamente proporcional a la temperatura; ya que al incrementar la temperatura se produce una mayor agitación y choques de las moléculas del gas, generando una mayor resistencia al movimiento (RAMÍREZ, 2006). Debido a estas razones, Lewis (1993) referido por CARMONA (2007) recomienda controlar la temperatura con un error máximo de 0,1 °C durante las determinaciones experimentales de viscosidad.

Existen varias fórmulas que permiten evaluar la variación de la viscosidad de un líquido al cambiar la temperatura. Las más importantes son:

La ecuación de Arrhenius:

$$\mu = A \cdot e^{B/T}$$

**Donde:**

$\mu$  : Viscosidad dinámica (mPa\*s)

$A$  y  $B$ : Constantes dependientes del líquido

$T$  : Temperatura absoluta

Como se observa en la ecuación, la viscosidad disminuye con la temperatura. Esto es debido a que conforme aumenta la temperatura, las fuerzas viscosas son superadas por la energía cinética, dando lugar a una disminución de la viscosidad (CARMONA, 2007); como se ha estudiado en diferentes tipos de mermeladas de frutas, la viscosidad disminuye con el aumento de la temperatura (Javanmard, 2010 citado por DÍAZ, 2014). 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 (CARMONA, 2007).

La ecuación de Poiseville:

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + \alpha T + \beta T^2}$$

**Donde:**

$\mu_0$  : Viscosidad dinámica a 0 °C

$T$  : Temperatura en °C

$\alpha$  y  $\beta$ : Coeficientes constantes

Steffe (1992) referido por CARMONA (2007) menciona que dado que la temperatura tiene un marcado efecto sobre la viscosidad, se puede relacionar dichos parámetros a través de las siguientes ecuaciones:

Para fluidos Newtonianos:  $\mu = A. e^{Ea/RT}$

Para fluidos no Newtonianos:  $\eta = K_T. e^{Ea/RT}$

**Donde:**

$\mu$  : Viscosidad

$T$  : Temperatura absoluta

$A, K_T$ : Constantes experimentales

$\eta$  : Viscosidad aparente

$Ea$  : Energía de activación

$R$  : Constante de gases ideales (1,987 cal/mol°K)

CARMONA (2007) señala que los parámetros de los modelos de predicción de viscosidad son evaluados aplicando análisis de regresión lineal simple o no lineal a los datos experimentales de viscosidad, registrados a diferentes temperaturas. Estos procedimientos estadísticos pueden ser implementados en programas como el STATGRAPHICS, SAS, o STATISTICA en entorno Windows.

- **Efecto de la presión:** Según RAMÍREZ (2006), en los líquidos, los cambios de viscosidad son bastante pequeños a presiones distintas de la atmosférica; por lo cual, el efecto de este factor es ignorado a la hora de hacer un ensayo experimental. Sólo en el caso del agua a temperaturas menores de 30 °C la viscosidad disminuye.

- **Efecto de la estructura y composición:** La viscosidad de un líquido, según afirma Lewis (1993) citado por CARMONA (2007), se ve influenciada por la naturaleza de las fases continua y dispersa, las interacciones partícula-partícula, partícula-solvente, la concentración de partícula, su forma, tamaño y composición química. Así por ejemplo, las moléculas de cadena larga no fluyen como una que tenga ramificaciones, puesto que la viscosidad depende de la longitud de la cadena; así, cuanto más larga es la cadena, más viscoso es el producto.

- **Efecto de la concentración:** La viscosidad es directamente proporcional a la concentración de solutos en una solución (Lewis, 1993 citado por CARMONA, 2007). En un estudio realizado, en muestras de mermelada de albaricoque, se determinó que el incremento en el porcentaje de pulpa produce un aumento de la consistencia del producto (CARMONA, 2007).

MATOS y AGUILAR (2010) estudiaron 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, a concentraciones de 13, 20 y 27 °Brix y temperaturas de 25, 45 y 65 °C. Las medidas reológicas se realizaron con un viscosímetro rotacional Brookfield DV-III. El comportamiento reológico fue ajustado a la ley de potencia ( $R^2 > 0,9$ ), definiendo a la pulpa de tuna como un fluido pseudoplástico ( $n \leq 0,881$ ). Los autores encontraron que existe una influencia positiva de la concentración sobre  $K$ , un efecto inverso tuvo la temperatura sobre la misma variable. Asimismo, demostraron mediante análisis de varianza (ANVA) que existe un efecto significativo de la concentración y temperatura sobre  $K$ .

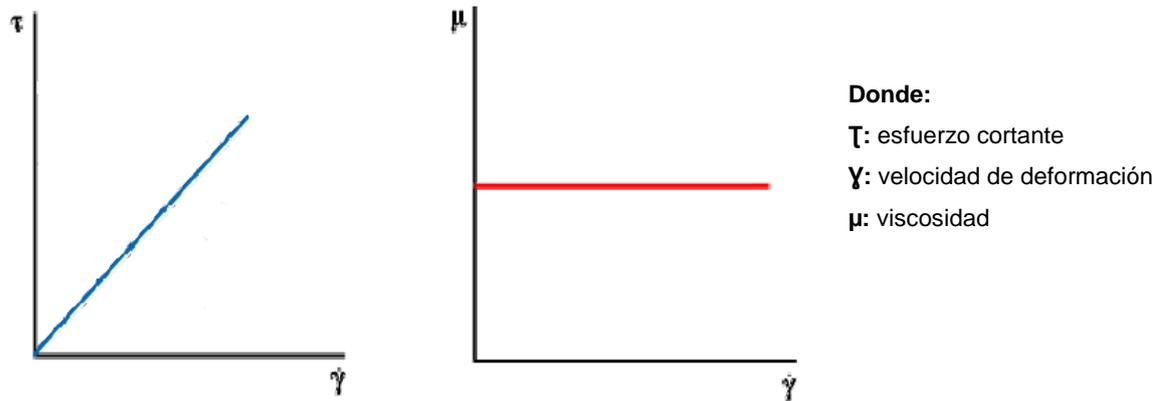
### **2.3.2. Clasificación de los fluidos**

De acuerdo con RAMÍREZ (2006), los fluidos se clasifican en: newtonianos, no newtonianos y viscoelásticos.

#### **2.3.2.1. Fluidos Newtonianos**

Son aquellos fluidos en los que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación (donde el esfuerzo cortante son las fuerzas externas aplicadas y la velocidad de deformación es la respuesta dinámica del fluido). Para este tipo de fluidos la viscosidad es constante y no depende del esfuerzo ni del tiempo que éste sea aplicado, pero sí puede depender de la temperatura y de la presión a la que se encuentre. En la Figura 2 se observa el comportamiento que presentan los fluidos

newtonianos. Como ejemplos de estos fluidos tenemos el agua líquida, el cloroformo, benceno, amoníaco, alcohol, petróleo, etc.



**Figura 2.** Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido newtoniano.

### 2.3.2.2. Fluidos no Newtonianos

Son aquellos fluidos en los que la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal. Entre ellos, se puede mencionar las suspensiones densas, las emulsiones, las soluciones de polímeros de cadena larga, fluidos biológicos, alimentos líquidos, pinturas, etc. Los fluidos no newtonianos se dividen en dependientes e independientes del tiempo.

#### 2.3.2.2.1. Independientes del tiempo

- **Pseudoplásticos:** En estos fluidos la viscosidad y el esfuerzo cortante disminuyen conforme se incrementa la velocidad de deformación. Como ejemplos tenemos algunos tipos de ketchup, mostaza, algunas clases de pintura, etc. Según Bolmstedt (2000) referido por YARANGA (2011), la razón por la cual se da este comportamiento es porque 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.

- **Dilatantes:** Estos fluidos son suspensiones en los que la viscosidad y el esfuerzo cortante se incrementan conforme se incrementa la velocidad de deformación. Ejemplo: harina de maíz, arena mojada, disoluciones de almidón muy concentradas, etc.

- **Plásticos:** Este tipo de fluido inicialmente se comporta como un sólido, necesitando un mínimo valor de esfuerzo cortante (esfuerzo umbral) para que el fluido se ponga en movimiento; a partir de allí se comporta como un líquido. Teniendo en cuenta el esfuerzo umbral necesario, los fluidos plásticos se diferencian, a su vez, en **Plásticos de Bingham;** que son aquellos en los que el esfuerzo cortante es proporcional a la velocidad de deformación y en **Plásticos;** que son aquellos en los que no existe proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Algunos ejemplos de este último tipo de fluido son el chocolate, la mayonesa, la mantequilla, la pasta dental, etc.

#### 2.3.2.2.2. Dependientes del tiempo

- **Tixotrópicos:** La viscosidad del fluido disminuye al incrementar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, volviendo a su estado inicial tras un tiempo de reposo. Ejemplo: las pinturas, el yogurt, la salsa de tomate, etc.

- **Reopécticos:** Tienen un comportamiento contrario a los tixotrópicos, ya que el fluido se vuelve más viscoso al incrementar el tiempo y la

velocidad de deformación aplicada, volviendo a su estado inicial tras un tiempo de reposo. Ejemplo: el yeso, la arcilla bentonítica, etc.

### **2.3.2.3. Viscoelásticos**

Estos fluidos tienen características tanto elásticas como viscosas, las cuales pueden ser debidas a la existencia en el líquido de moléculas muy largas y flexibles o a la presencia de partículas líquidas o sólidos dispersos. Como ejemplos mencionaremos a los helados, la nata, la gelatina, etc.

### **2.3.3. Importancia de los estudios reológicos**

Las razones fundamentales que justifican el estudio del comportamiento reológico de los alimentos, son las siguientes:

- **Diseño de máquinas y equipos:** Cuanto mejor se conozca el comportamiento reológico del producto a mover, más eficaces serán las maquinarias a emplearse en el proceso de elaboración, ya que el diseño y construcción de las tolvas, tuberías, bombas, etc. se realizarán de acuerdo a las características del producto (MULLER, 1973).

- **Control de los procesos:** Mediante las medidas reológicas realizadas en las industrias a las materias primas y productos en elaboración (MULLER, 1973).

- **Evaluación sensorial de un producto:** Los datos reológicos pueden ser muy interesantes para modificar el proceso de elaboración o la formulación de un producto final de forma que los parámetros de textura del alimento se encuentren dentro del rango considerado deseable por los

consumidores (Kokini, 1985 citado por DÍAZ, 2014). Por ello, MULLER (1973) indica que las características reológicas influyen considerablemente en la aceptación o rechazo de un producto, por parte del consumidor.

- **Control de calidad:** De la materia prima, productos intermedios y finales; el control de estos dos últimos se realiza en la misma línea de producción (CARMONA, 2007).

- **Mayor conocimiento de la estructura de la materia:** Los estudios reológicos pueden aportarnos información que facilite una mejor comprensión de la estructura o de la distribución de los componentes macromoleculares, así como para predecir los cambios estructurales durante los procesos de acondicionamiento y elaboración a los que son sometidos (Borwankar *et al.*, 1992 referido por DÍAZ, 2014).

Otros campos en los que el conocimiento reológico es importante:

- Desarrollo de nuevos productos.
- Estudio de vida en anaquel.
- Evaluación de la textura del alimento mediante la correlación con datos sensoriales (CARMONA, 2007).

#### **2.3.4. Medida de las características reológicas**

HERMIDA (2000) manifiesta que la determinación experimental de los parámetros reológicos es complicada debido a la gran diversidad de productos y a los amplios márgenes de consistencias a medir, lo q hace que el número de equipos disponibles sea muy elevado. Según indica, la mejor

técnica de determinación de estos parámetros dependerá de las orientaciones que se pretendan conseguir con las medidas y de los problemas que se deseen resolver.

Se pueden fijar como objetivos, desde el control de materias primas hasta el de productos terminados, en cuyo caso se deben relacionar las medidas reológicas con parámetros sensoriales definidos dentro de preferencias, pasando por controles de productos intermedios de proceso en pruebas comparativas, e incluso el desarrollo de nuevos productos que deban de reunir unas especificaciones determinadas. En todos los casos, se puede decir que la mejor técnica es aquella que proporcione la información necesaria al menor coste.

Los métodos experimentales para la obtención de las relaciones tensión-deformación-tiempo, dependen del estado físico del cuerpo a analizar, es decir de su estado sólido, plástico o fluido. Para los fluidos, encontramos equipos denominados viscosímetros, consistómetros, reómetros, tirantómetros, etc. A continuación se describen algunos de ellos:

#### **2.3.4.1. Equipos basados en el movimiento laminar del fluido en el interior de un tubo capilar**

Denominados viscosímetros capilares (Ejm: de Ostwald, de flujo inverso, de Cannon-Fenske). En función de la fuerza impulsora que origina el movimiento, pueden ser:

- **Viscosímetros hidrostáticos:** En los que la fuerza impulsora está dada por la altura del fluido a medir.

- **Viscosímetros con presión externa regulada:** En los que la fuerza impulsora se regula mediante presión de un gas.

#### **2.3.4.2. Equipos basados en el cizallamiento de un fluido entre placas paralelas**

- Viscosímetros de placas deslizantes.
- Viscosímetros de placas sándwich.
- Viscosímetros de bandeja y placa.

#### **2.3.4.3. Equipos basados en el movimiento de un sólido o un fluido dentro del fluido problema**

- Viscosímetros de caída de bola: Con caída libre o forzada.
- Viscosímetros de ascensión de burbuja.
- Viscosímetros coaxiales con movimiento axial: Entre los que se encuentran los de cizalla telescópica y algunos penetrómetros.
- Viscosímetros de cinta.

#### **2.3.4.4. Equipos basados en el movimiento rotacional de un fluido entre dos cuerpos de distintas geometrías**

- **Viscosímetro tipo Couette:** Con dos cilindros coaxiales, el externo con movimiento giratorio y midiendo el par de torsión en el interno.
- **Viscosímetro tipo Stormer:** En el que se mide la velocidad de giro de un cilindro interno sometido a una tensión dada por el movimiento rotacional del fluido.

- **Viscosímetro tipo Rotovisko:** En el que se mide el par de reacción entre el cilindro interno rotatorio y el externo fijo.

- **Viscosímetro de cono y placa:** Que mide el par de reacción de un cono que gira sobre una placa.

- **Viscosímetro tipo Brookfield:** En el que se mide el par de reacción de un cilindro que gira dentro del fluido sin ninguna superficie coaxial próxima.

- **Reogoniómetro:** Que mide simultáneamente el par de reacción de un cono que gira sobre una placa y la presión que el fluido ejerce normalmente a la misma.

#### **2.3.4.5. Equipos basados en la atenuación de un haz de ondas ultrasónicas en el interior de un fluido**

Son también denominados Viscosímetros Ultrasónicos.

#### **2.3.4.6. Equipos basados en la resistencia que opone el fluido a ser agitado en un proceso de mezclado simulado**

Son también denominados Plastógrafos.

**2.3.4.7. Equipos basados en el estudio óptico;** mediante fotografía secuencial, de la deformación de un chorro de fluido a la salida de un capilar.

De acuerdo a las propiedades de los distintos fluidos, en el Cuadro 5 se indican los equipos que pueden ser utilizados en cada caso.

**Cuadro 5.** Aplicación de equipos reológicos en función del tipo de fluidos.

Tipo de fluido	Equipo
Fluidos newtonianos de viscosidad media y baja	Viscosímetros capilares y viscosímetros hidrostáticos.
Fluidos newtonianos de viscosidad alta y muy alta	Viscosímetros capilares de presión externa regulada, viscosímetros coaxiales con movimiento axial y viscosímetros de placas deslizantes.
Fluidos plásticos, pseudoplásticos y dilatantes	Viscosímetros capilares de presión externa regulada, viscosímetros rotacionales de cilindros coaxiales y viscosímetros de cono y placa.
Fluidos tixotrópicos y reopécticos	Viscosímetros rotacionales de cilindros coaxiales y viscosímetros de cono y placa. Es indispensable el uso de un registrador.
Fluidos viscoelásticos	Reogoniómetros con registrador.

Fuente: HERMIDA (2000).

#### 2.4. Estabilidad del alimento durante su almacenamiento

Según UREÑA *et al.* (1999), la estabilidad del alimento desde su producción hasta su consumo, es esencial para satisfacer la expectativa del consumidor, ya que de las transformaciones físico-químicas, bioquímicas y microbiológicas que se den durante este periodo dependerá finalmente su mayor o menor aceptación y preferencia. Para conocer dicha evolución se realizan las denominadas pruebas de vida en anaquel, que consisten en

exponer varias muestras del producto a condiciones controladas de almacenamiento, estableciéndose un protocolo de evaluación en base a dichas condiciones y el tiempo que dure la prueba.

VIADES (2012) señala que la vida de anaquel de un alimento puede decirse que es el tiempo que éste puede almacenarse desde el momento en que se produce hasta que consumirlo ya no es seguro y/o deseable.

Según CASP y ABRIL (2003), en los alimentos se producen cambios que pueden ser perceptibles o no por los sentidos del consumidor. Los cambios que pueden ser percibidos sensorialmente incluyen variaciones del color, del sabor, del aroma y de la textura. Especial atención merecen los cambios en la textura que son consecuencia de la degradación o colapso de la estructura del tejido del alimento, ya que además de alterar la palatabilidad, facilita el camino a subsiguientes contaminaciones microbianas.

#### **2.4.1. Cinética de deterioro de los alimentos**

La cinética de deterioro de un alimento y por ende su vida de anaquel están determinadas por la pérdida de calidad, es decir, la pérdida de características deseables o factores de calidad (ejemplo: nutrientes, sabor, olor, textura) y/o por la formación de factores indeseables (ejemplo: sabores y olores indeseables, pérdida o cambio de color) (VIADES, 2012).

No obstante, un modelo cinético completo de pérdida de vida de anaquel debe considerar no sólo el alimento sino también las condiciones ambientales en las que se desarrolla la experiencia. Por lo tanto, se deben

incluir como variables en el modelo cinético, aquellos factores ambientales que afecten fuertemente a las constantes de velocidad de reacción y que sean más susceptibles de sufrir variaciones durante la vida de anaquel del alimento (CASP y ABRIL, 2003).

Los factores ambientales con mayor influencia en la cinética de deterioro y en la vida de anaquel son: la temperatura, humedad relativa, presión total y parcial de gases, la luz. El que se estudia con más frecuencia es la temperatura pues los demás generalmente pueden controlarse con el empaque (VIADES, 2012), y porque la temperatura afecta fuertemente a las constantes de velocidad de las reacciones (CASP y ABRIL, 2003).

#### 2.4.1.1. Efecto de la temperatura de almacenamiento

Según VIADES (2012), la velocidad de reacción se incrementa conforme la temperatura aumenta. La ecuación de la Ley de Arrhenius muestra que la velocidad de reacción varía exponencialmente con la temperatura:

$$k = Ae^{-\left(\frac{Ea}{RT}\right)}$$

**Donde:**

**A** : Factor pre-exponencial

**Ea**: Energía de activación

**T** : Temperatura absoluta en °K (°C + 273)

**R** : Constante de gases ideales (1,98717 cal/mol°K)

Para una representación gráfica de los datos experimentales de  $k$  Vs.  $T$  es conveniente modificar la ecuación en la siguiente forma:

$$\ln k = \ln A - \left(\frac{Ea}{R}\right) \left(\frac{1}{T}\right)$$

La ecuación de Arrhenius puede usarse para predecir la velocidad de reacción y la vida de anaquel de los alimentos a cualquier temperatura siempre y cuando esté dentro del intervalo de aplicación de la ley.

#### **2.4.2. Pruebas aceleradas**

Los métodos acelerados son útiles para disminuir el tiempo dedicado a los ensayos cuando se está estudiando la durabilidad de productos no perecederos. Estas pruebas se basan en someter el producto a condiciones de almacenamiento que aceleren las reacciones de deterioro, las que se denomina abusivas; que pueden ser temperaturas, presiones parciales de oxígeno y contenidos de humedad altos (Cantillo, 1994 citado por GIRALDO, 1999).

Las pruebas aceleradas implican el uso de altas temperaturas en las experiencias para conocer las pérdidas de calidad del alimento y su vida útil y la extrapolación de los resultados a las condiciones normales de almacenamiento utilizando la ecuación de Arrhenius. De esta forma, una experiencia que debería durar un año se puede completar en un mes (CASP y ABRIL, 2003).

Sin embargo, se deben tomar en cuenta no solamente la selección de las temperaturas para realizar las pruebas, sino que debe establecerse el diseño estadístico experimental, realizar las respectivas mediciones por duplicado o triplicado para evaluar las desviaciones de las muestras, y así,

evaluar de manera más apropiada la vida útil. Esto sin dejar de lado el hecho de que existe siempre un error asociado con la naturaleza del sistema biológico que generalmente es complejo (Labuza, 1985 referido por GARCIA y MOLINA, 2008).

### 2.4.3. Orden de reacción

GIRALDO (1999) menciona que se debe identificar las reacciones químicas y biológicas que influyen sobre la calidad y seguridad del alimento e identificar el orden de estas reacciones.

Según Labuza y Riboh (1982) citados por SIVINCHA (2014), el concepto de reacción puede ser extendida a la pérdida de calidad para muchos alimentos, y puede ser representada por la siguiente ecuación:

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

**Donde:**

$A$  : Factor de calidad a medir

$t$  : Tiempo

$K$  : Constante de velocidad de reacción

$n$  : Orden de reacción

$\pm dA/dt$  : Velocidad de cambio de  $A$  con el tiempo

El signo negativo es utilizado si el deterioro es la pérdida de un factor de calidad de  $A$  (ejemplo: el sabor) y un signo positivo señala el aumento de un factor indeseable (ejemplo: valor de peróxido).

Conforme indica RAFAEL (2012), después de un procedimiento aritmético se obtiene:

$$\text{Orden Cero} : n = 0 \qquad A = A_0 - k_c t$$

$$\text{Primer Orden: } n = 1 \qquad \ln A = \ln A_0 - k_1 t$$

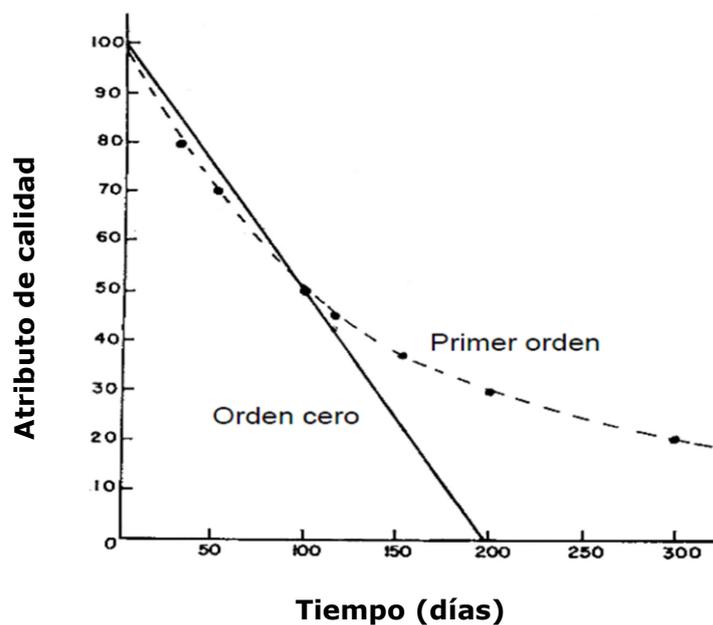
**Donde:**

$A$  : Valor del atributo al tiempo  $t$

$k_c$ : Constante de velocidad de orden 0 (la pendiente)

$k_1$ : Constante de velocidad de orden 1 (la pendiente)

En la Figura 3 se observa el efecto generado por el orden de reacción.



**Figura 3.** Cambio en la calidad Vs. el tiempo: efecto del orden de la reacción.

Según Díaz (2004) referido por GARCIA *et al.* (2011), una de las particularidades de los cambios en los atributos de los alimentos, como el color,

textura, sabor, es que estos responden a modelos cinéticos de orden cero o de primer orden. CASP y ABRIL (2003) explican que la mayoría de las reacciones estudiadas en los alimentos, se han caracterizado como de orden cero o de primer orden. En el Cuadro 6 se indican algunos ejemplos significativos.

**Cuadro 6.** Reacciones de pérdida de calidad que siguen cinéticas de orden cero y de primer orden.

<b>Orden cero</b>	Calidad global de alimentos congelados Pardeamiento no enzimático Degradación enzimática Oxidación de los lípidos
<b>Primer orden</b>	Pérdida de vitaminas y proteínas Muerte / desarrollo microbiano Pérdida de color por oxidación Pérdida de textura en tratamientos térmicos

Fuente: CASP y ABRIL (2003).

En el Cuadro 7 se muestran algunos valores típicos de energía de activación para diferentes procesos y reacciones en la industria alimentaria.

**Cuadro 7.** Energías de activación típicas.

<b>Reacción</b>	<b>Energía de activación (kcal/mol)</b>
Procesos de difusión	0 – 8
Reacciones enzimáticas	10 – 30
Hidrólisis	15
Oxidación de lípidos	10 – 25
Degradación de vitaminas	20 – 30
Desnaturalización de enzimas	12 – 100
Destrucción de células vegetales	50 – 150
Destrucción de esporas	53 – 83
Desnaturalización de proteínas	80 – 120

Fuente: Cantillo (1994) citado por GIRALDO (1999).

Se ha estudiado la influencia que ejerce la temperatura en los parámetros reológicos de mermelada de tuna (YARANGA, 2011) almacenada a 30, 40 y 50 °C durante 30 días, determinando que ésta tiene comportamiento pseudoplástico, con índice reológico de 0,245 a 0,3899 e índice de consistencia (m) de 17,493 a 94,182; para los diferentes tratamientos. Los valores de m durante el almacenamiento a diferentes temperaturas se ajustaron a una ecuación de orden uno con  $R^2 > 0,98$ . El coeficiente de velocidad de reacción (K) de la cinética de primer orden se ajusta al modelo de Arrhenius con  $R^2 = 0,996$ ; obteniendo una  $E_a = 11,57725$  kcal/mol. La temperatura tuvo un efecto muy acusado en los parámetros reológicos de la mermelada de tuna.

Así también, se estimó la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas, evaluando con un colorímetro la degradación de color como indicador de deterioro (GARCIA *et al.*, 2011), almacenando el producto a

40, 45 y 50 °C durante 110, 120 y 42 días, respectivamente. El autor encontró que el deterioro del color de la pasta de tomate responde a un modelo de orden cero y las constantes cinéticas obtenidas fueron 0,031 día<sup>-1</sup>, 0,064 día<sup>-1</sup>, y 0,097 día<sup>-1</sup>, en orden creciente de temperatura. Con estas velocidades de reacción y el modelo de Arrhenius se obtuvo además un valor de la  $E_a = 95680$  J/mol. La vida útil estimada del producto a 40, 45 y 50 °C es de 150 días, 62 días y 44 días, respectivamente.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco; con una temperatura promedio anual de 25 °C y una humedad relativa de 84%. Se utilizaron los laboratorios de Calidad y Evaluación Sensorial, Ingeniería de Alimentos, Análisis de Alimentos y de las instalaciones de la Planta Piloto de Frutas y Hortalizas, todos ellos pertenecientes a la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

#### **3.2. Materia prima e insumos**

##### **3.2.1. Materia prima**

Como materia prima se empleó naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) variedad agria, adquirida del Fundo San Valentín, Fundo Santa Elena y Fundo Santa Elisa del distrito de Villa Rica, provincia de Oxapampa, región Pasco.

##### **3.2.2. Insumos**

- Azúcar blanca marca Cartavio
- Pectina cítrica marca Alfa Aesar

### **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 precipitación de 50 y 100 mL, marca KIMAX (USA).
- Termómetro -10 °C – 110 °C, marca LASANY (India).
- Probeta de 50 mL, marca KIMAX (USA).
- Pipeta de 1mL, marca FORTUNA (Alemania).
- Envases de tapa rosca de 430 g de capacidad.
- Vagueta

##### **3.3.1.2. Materiales de aluminio y acero inoxidable**

- Ollas de 4, 20 y 50 L
- Tazones de 5 y 10 L
- Cucharas
- Espumadera

#### **3.3.2. Equipos de laboratorio y/o proceso**

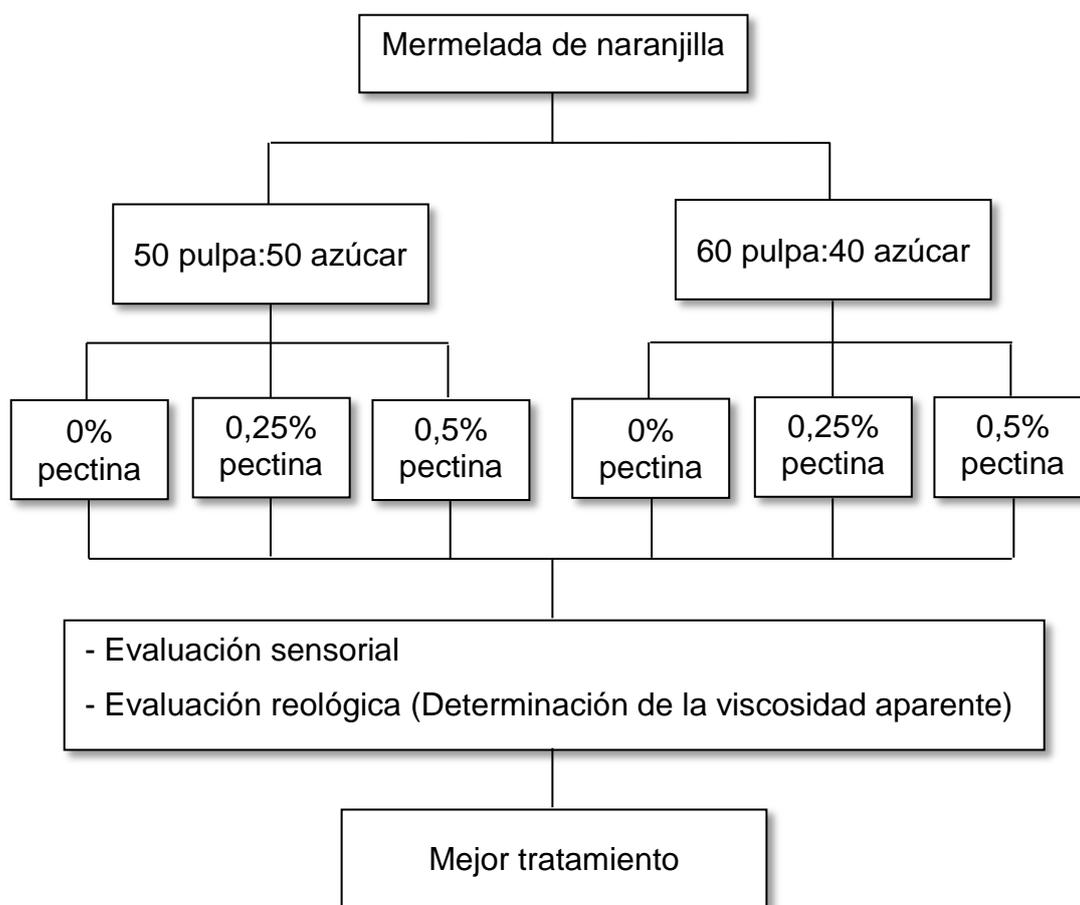
- Balanza analítica, marca SARTORIUS, modelo BL210S, 210 g de capacidad (Alemania).
- Balanza de precisión, marca RADWAG, modelo WLC 2/A2/C/2, 2 kg de capacidad (Polonia).
- Balanza digital, marca SARTORIUS, 12 kg de capacidad (Alemania).

- pHmetro de sobremesa, marca METTLER TOLEDO, modelo MP220, N° serie: 222177 (Suiza).
- Viscosímetro rotacional, marca Brookfield, modelo RV DV-III ULTRA, N° serie: 8496115 (USA).
- Refractómetro de mano, marca ATAGO, modelo N-3E, 58 – 90% (Japón).
- Baño de agua termostático, marca GEMMYCO, modelo YCW-010E, N° serie: 010461 (Taiwán).
- Estufas, marca TOMOS, modelos ODHG-9240A y ODHG-9076A.
- Estufa, marca LAB-LINE, modelo Imperial III 3430M-1, N° serie: 0582-103 (USA).
- Pulpeadora, capacidad de producción 500 kg/h, tamiz de 1,4 mm de diámetro (Hungría).
- Cámara digital, marca CANON, modelo SX600 HS, Full HD de 16 Mpx.

### **3.4. Metodología experimental**

#### **3.4.1. Determinación de parámetros para la elaboración de mermelada de naranjilla**

La determinación de los parámetros adecuados para la mermelada de naranjilla se realizó según el esquema experimental de la Figura 4. Se evaluaron niveles de pulpa: azúcar (50:50 y 60:40) y pectina (0%; 0,25% y 0,5%); con una concentración final de 65 °Brix. La formulación adecuada se determinó mediante evaluación sensorial.



**Figura 4.** Diseño experimental para la determinación de los parámetros adecuados en la elaboración de mermelada de naranjilla.

### 3.4.2. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial se realizó con 18 panelistas semientrenados, utilizando una escala hedónica lineal de 10 cm; siendo los atributos en evaluación textura, sabor y apariencia general. El formato respectivo se presenta en el Anexo-I. El análisis estadístico se realizó mediante Análisis de Varianza (ANVA), con Diseño Completo al Azar (DCA) y arreglo factorial 3 x 2, usando el Software STATGRAPHICS Centurion XV.II. Se evaluó la diferencia entre los tratamientos y el efecto que tienen la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre la mermelada de naranjilla. La

diferencia significativa existente entre las medias se evaluó mediante la prueba de Tukey.

### **3.4.3. Evaluación reológica**

Las evaluaciones reológicas se realizaron con el viscosímetro Brookfield RV DV-III Ultra, utilizando el spindle N° 06. Con las lecturas de viscosidad obtenidas a diferentes velocidades de rotación y a una temperatura de trabajo de 30 °C, se realizaron los cálculos para determinar el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación. Con estos valores y utilizando el modelo matemático de la Ley de Potencia, se obtuvo el índice reológico (n) y el índice de consistencia (m).

### **3.4.4. Evaluación en el almacenamiento**

Para la evaluación de la estabilidad de la mermelada de naranjilla mediante pruebas aceleradas, se colocó muestras del producto en estufas con control de temperatura a 40, 53 y 60 °C, con una variación promedio de  $\pm 2$  °C. Las evaluaciones se llevaron a cabo cada 5 días por un periodo de 40 días, realizándose por duplicado para cada tratamiento.

Para cada temperatura de almacenamiento se determinó el orden de reacción y sus correspondientes coeficientes de velocidad de reacción "K", los cuales luego fueron relacionados por la ecuación de Arrhenius para determinar la energía de activación (Ea).

### 3.4.4.1. Evaluación del color

Se tomaron fotografías de las muestras de mermelada de naranjilla almacenadas a temperaturas de 40, 53 y 60 °C, para la evaluación del color mediante el uso del software Just Color Picker, empleando el formato de color RGB (Red, Green, Blue; por sus iniciales en inglés).

#### - Determinación del orden de reacción y coeficiente de velocidad de reacción (K) para la cinética de pérdida de textura y variación de color

Se empleó el modelo de integración de pérdida de calidad indicado por RAFAEL (2012) para determinar el orden de reacción; según los factores de calidad evaluados. Dicho método consiste en elegir un orden de reacción (n) igual a cero, uno y dos e integrar la ecuación:

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

Orden Cero :  $n = 0$                        $A = A_0 - k_c t$

Primer Orden :  $n = 1$                        $\ln A = \ln A_0 - k_1 t$

Segundo Orden:  $n = 2$                        $\frac{1}{A} = \frac{1}{A_0} - k_2 t$

En las ecuaciones obtenidas se reemplazaron los valores experimentales de A, que es el factor de calidad evaluado (índice de consistencia y parámetros de color R y G); empleando el diseño escalonado para la cinética de pérdida de textura.

Se realizó la regresión lineal ( $n = 0$ ,  $n = 1$ ,  $n = 2$ ) para escoger el orden de reacción que mejor se ajusta a las cinéticas de deterioro en estudio, en base al coeficiente de determinación ( $R^2$ ). Se determinó el coeficiente de velocidad de reacción ( $K$ ), cuyo valor es la pendiente de dicha regresión para cada temperatura de almacenamiento.

#### **- Determinación de la energía de activación ( $E_a$ ) usando el modelo de Arrhenius**

Para el ajuste a la ecuación de Arrhenius:

$$k = Ae^{-\left(\frac{E_a}{RT}\right)}$$

Se realizó la regresión lineal de los coeficientes de velocidad de reacción ( $K$ ) del orden que se adecuó mejor a las cinéticas de deterioro en estudio, contra la inversa de cada temperatura en grados kelvin ( $1/^\circ\text{K}$ ).

Luego, el valor obtenido en el exponente de la ecuación es igual a:

$$\frac{E_a}{R}$$

Sabiendo que  $R = 1,98717 \text{ cal.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ , se despeja  $E_a$ .

#### **- Análisis estadístico**

Para determinar el efecto que tienen el tiempo y temperatura de almacenamiento sobre el índice de consistencia y los parámetros de color  $R$  y  $G$ , se realizó el análisis estadístico mediante Análisis de Varianza (ANVA), con Diseño Completo al Azar (DCA) y arreglo factorial  $3 \times 2$ ; utilizando el software STATGRAPHICS Centurion XV.II. La diferencia significativa existente entre las medias se evaluó mediante la prueba de Tukey.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Parámetros para la elaboración de mermelada de naranjilla

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial de los tratamientos elaborados con diferentes niveles de pulpa:azúcar (50:50 y 60:40) y pectina (0%, 0,25% y 0,5%), con una concentración final de 65 °Brix, se presentan en el Anexo-II.

El ANVA para el atributo textura de la mermelada de naranjilla se presenta en el Anexo-III (a), en el cual se observa que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos ( $P_{\text{valor}} < 0,01$ ), con un nivel de confianza del 99,0%.

En el Cuadro 8 se presenta los resultados de la comparación de medias de los diferentes tratamientos, la cual permitió determinar cuál es el mejor tratamiento.

De la comparación de medias se determinó que el mejor tratamiento en cuanto al atributo textura es 50 pulpa:50 azúcar; 0% pectina, el cual es estadísticamente igual a los tratamientos 50 pulpa:50 azúcar; 0,25% pectina y 50 pulpa:50 azúcar; 0,5% pectina, pero estadísticamente diferente de los tratamientos 60 pulpa:40 azúcar; 0% pectina, 60 pulpa:40 azúcar; 0,25% pectina y 60 pulpa:40 azúcar; 0,5% pectina.

**Cuadro 8.** Comparación de medias de los diferentes tratamientos para el atributo textura.

Tratamiento	Casos	Textura
50 pulpa:50 azúcar; 0% pectina	18	7,41667 <sup>a</sup>
50 pulpa:50 azúcar; 0,5% pectina	18	6,66389 <sup>ab</sup>
50 pulpa:50 azúcar; 0,25% pectina	18	6,40278 <sup>ab</sup>
60 pulpa:40 azúcar; 0% pectina	18	4,85278 <sup>b</sup>
60 pulpa:40 azúcar; 0,25% pectina	18	4,52778 <sup>b</sup>
60 pulpa:40 azúcar; 0,5% pectina	18	4,51944 <sup>b</sup>

Resultados semejantes obtuvo HIDALGO (2012), para mermelada de naranjilla con adición de diferentes niveles de papa china y pectina, pues señala que en la evaluación sensorial mediante prueba hedónica de aceptación y rechazo para el atributo consistencia, los tratamientos 100% naranjilla, 0,25% pectina y 100% naranjilla, 0,5% pectina, resultaron ser estadísticamente iguales.

El ANVA para el atributo sabor de la mermelada de naranjilla se presenta en el Anexo-III (b), el cual muestra que no existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $P_{valor} > 0,05$ ), con un nivel de confianza del 95,0%.

El ANVA para el atributo apariencia general de la mermelada de naranjilla se presenta en el Anexo-III (c), el cual muestra que existe diferencia altamente significativa entre los tratamientos ( $P_{valor} < 0,01$ ), con un nivel de confianza del 99,0%.

Por consiguiente, se hizo la comparación de medias para determinar cuál es el mejor tratamiento. Dicha comparación se observa en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Comparación de medias de los diferentes tratamientos para el atributo apariencia general.

Tratamiento	Casos	Apariencia general
50 pulpa:50 azúcar; 0% pectina	18	7,15000 <sup>a</sup>
50 pulpa:50 azúcar; 0,5% pectina	18	6,81389 <sup>ab</sup>
50 pulpa:50 azúcar; 0,25% pectina	18	6,58889 <sup>ab</sup>
60 pulpa:40 azúcar; 0% pectina	18	5,41111 <sup>abc</sup>
60 pulpa:40 azúcar; 0,25% pectina	18	4,99167 <sup>bc</sup>
60 pulpa:40 azúcar; 0,5% pectina	18	4,54722 <sup>c</sup>

De la comparación de medias se determina que el mejor tratamiento con respecto al atributo apariencia general es 50 pulpa:50 azúcar; 0% pectina, el cual es estadísticamente igual a los tratamientos 50 pulpa:50 azúcar; 0,25% pectina, 50 pulpa:50 azúcar; 0,5% pectina y 60 pulpa:40 azúcar; 0% pectina, pero estadísticamente diferente de los tratamientos 60 pulpa:40 azúcar; 0,25% pectina y 60 pulpa:40 azúcar; 0,5% pectina.

El ANVA para determinar el efecto que tienen la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre el atributo textura de la mermelada de naranjilla se presenta en el Anexo-III (d), el cual muestra que la concentración de pulpa:azúcar tiene un efecto altamente significativo ( $P_{\text{valor}} < 0,01$ ), mientras que la concentración de pectina no tiene efecto significativo sobre el atributo en mención ( $P_{\text{valor}} > 0,05$ ), con un nivel de confianza del

95,0%. La comparación de medias de la concentración de pulpa:azúcar se presenta en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Comparación de medias de la concentración de pulpa:azúcar para el atributo textura.

<b>% pulpa : azúcar</b>	<b>Casos</b>	<b>Textura</b>	<b>Sigma LS</b>
50 pulpa : 50 azúcar	54	6,82778 <sup>a</sup>	0,304128
60 pulpa : 40 azúcar	54	4,63333 <sup>b</sup>	0,304128

De la comparación de medias se determina que el mejor tratamiento con respecto al atributo textura es 50 pulpa:50 azúcar el cual es estadísticamente diferente del tratamiento 60 pulpa:40 azúcar.

El ANVA para determinar el efecto que tienen la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre el atributo sabor de la mermelada de naranjilla se presenta en el Anexo-III (e), el cual muestra que ninguno de los factores tiene efecto significativo sobre el atributo en mención ( $P_{\text{valor}} > 0,05$ ), con un nivel de confianza del 95,0%.

El ANVA para determinar el efecto que tienen la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre el atributo apariencia general de la mermelada de naranjilla se presenta en el Anexo-III (f), el cual muestra que la concentración de pulpa:azúcar tiene un efecto altamente significativo ( $P_{\text{valor}} < 0,01$ ), mientras que la concentración de pectina no tiene efecto significativo sobre el atributo en mención ( $P_{\text{valor}} > 0,05$ ), con un nivel de confianza del 95,0%.

En el Cuadro 11 se presenta la comparación de medias de la concentración de pulpa:azúcar.

**Cuadro 11.** Comparación de medias de la concentración de pulpa:azúcar para el atributo apariencia general.

<b>% pulpa : azúcar</b>	<b>Casos</b>	<b>Apariencia general</b>	<b>Sigma LS</b>
50 pulpa : 50 azúcar	54	6,85093 <sup>a</sup>	0,279052
60 pulpa : 40 azúcar	54	4,98333 <sup>b</sup>	0,279052

De la comparación de medias se observa que el mejor tratamiento con respecto al atributo apariencia general es 50 pulpa:50 azúcar, el cual es estadísticamente diferente del tratamiento 60 pulpa:40 azúcar.

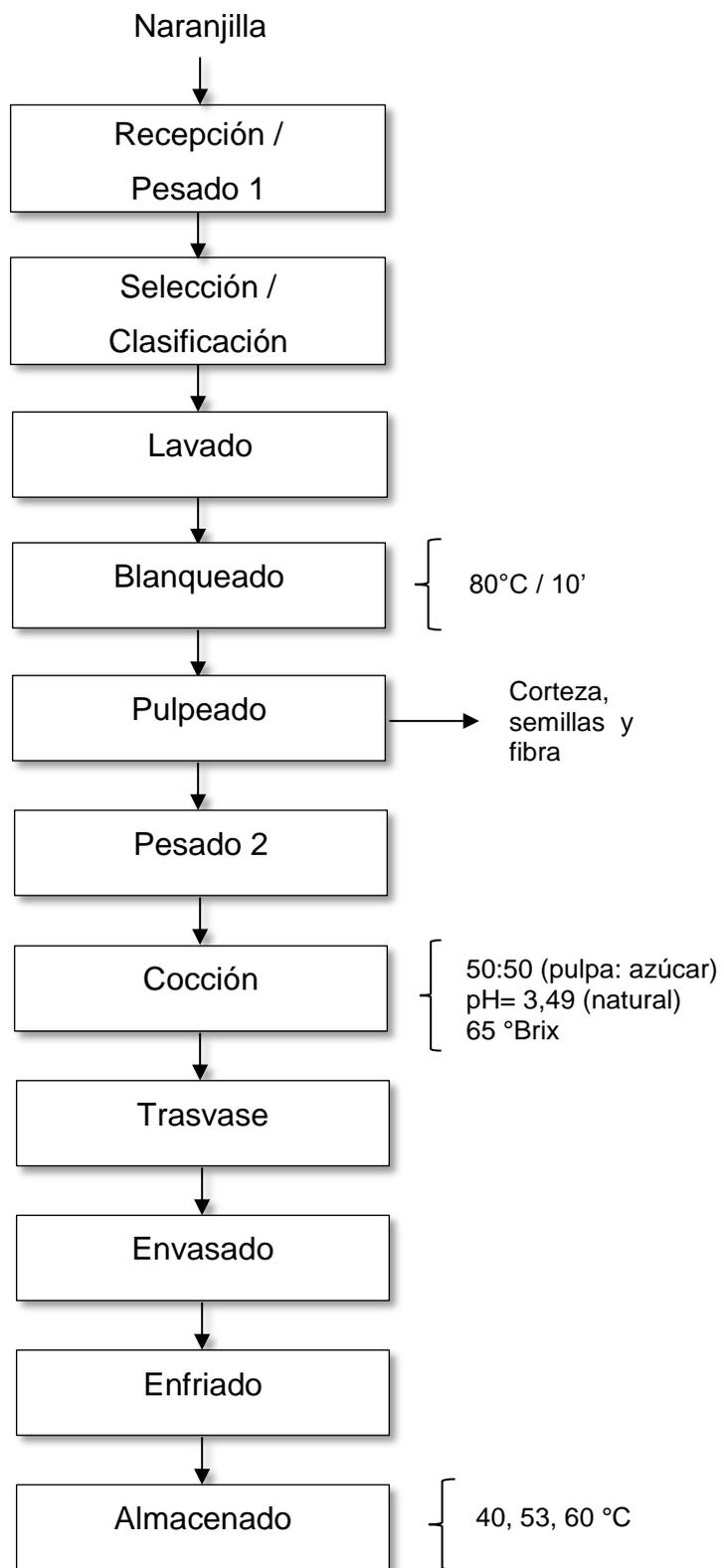
Por lo tanto, se determinó que la mejor formulación para mermelada de naranjilla es 50 pulpa:50 azúcar y 0% pectina.

GALLOZZI y DUARTE (2007) señalan que en la elaboración de mermelada, algunas frutas como la naranjilla no requieren la adición de pectina.

MEYER (1996) indica que al cocer frutas ácidas con azúcar y concentrar la masa lo suficiente, la pectina propia de la fruta causa la solidificación del producto.

RAUCH (1970) menciona que la cantidad de pectina a adicionar dependerá de la cantidad y calidad de pectina propia de la fruta.

En la Figura 5 se presenta el flujo definitivo de operaciones para la elaboración de mermelada de naranjilla.



**Figura 5.** Flujograma definitivo para la elaboración de mermelada de naranjilla.

- **Recepción / Pesado 1:** Se hizo el control sanitario y el control de pesos y unidades de la materia prima, con la finalidad de determinar los rendimientos del proceso.

- **Selección / Clasificación:** Se llevó a cabo la selección de la materia prima eliminando los frutos que se encontraban en mal estado. Asimismo, se clasificaron según su estado de madurez, empleando frutos maduros para este producto.

- **Lavado:** Se lavaron los frutos con agua corriente con el objetivo de eliminar la tierra y otros cuerpos extraños que se encontraban adheridos a la superficie, a la vez que se redujo la carga microbiana presente.

- **Blanqueado:** Se sometió a la fruta a un tratamiento térmico de 80 °C por 10 minutos con la finalidad de prevenir el fenómeno de oxidación. Por otro lado, con esta operación se ablandaron los tejidos de la fruta, debido a lo cual ya no fue necesaria la operación de pelado.

GALLOZZI y DUARTE (2007) aseveran que se debe realizar el blanqueado para evitar la oxidación de la naranjilla, por un tiempo no menor de 10 minutos. Coincidiendo de esta manera en el tiempo empleado; no obstante, los autores no indican la temperatura de esta operación.

Asimismo, dichos autores señalan que en la naranjilla el blanqueado actúa como coadyuvante del pelado, debido a que la corteza se desprende fácilmente luego del tratamiento térmico.

- **Pulpeado:** Se extrajo la pulpa de la fruta, separándola de la corteza, semillas y fibra.

- **Pesado 2:** Tras la operación de pulpeado se procedió a realizar un segundo pesado; en esta ocasión para conocer la cantidad de pulpa a procesar y con la cual se realizó la formulación respectiva.

- **Cocción:** En esta etapa se incorporó el insumo previamente pesado. El punto final de la mermelada se determinó al obtener una concentración de 65 °Brix.

- **Trasvase:** Una vez alcanzada la concentración deseada, se vertió la mermelada a otro recipiente para interrumpir la cocción.

- **Envasado:** Se procedió a envasar el producto en recipientes de vidrio de 430 g de capacidad y se colocaron en posición invertida durante 5 minutos aproximadamente.

- **Enfriado:** Se dejó enfriar a temperatura ambiente para estabilizar el producto y conseguir la formación del gel de la mermelada.

- **Almacenado:** El producto terminado se almacenó a temperaturas de 40, 53 y 60 °C para determinar su estabilidad mediante pruebas aceleradas.

#### 4.2. De la evaluación reológica de los tratamientos

Los resultados de la evaluación reológica de los diferentes tratamientos se presentan en el Cuadro 12.

Los procedimientos que se realizaron para la obtención de dichos resultados coinciden con lo efectuado por MATOS y AGUILAR (2010) en pulpa de tuna y YARANGA (2011) en mermelada de tuna.

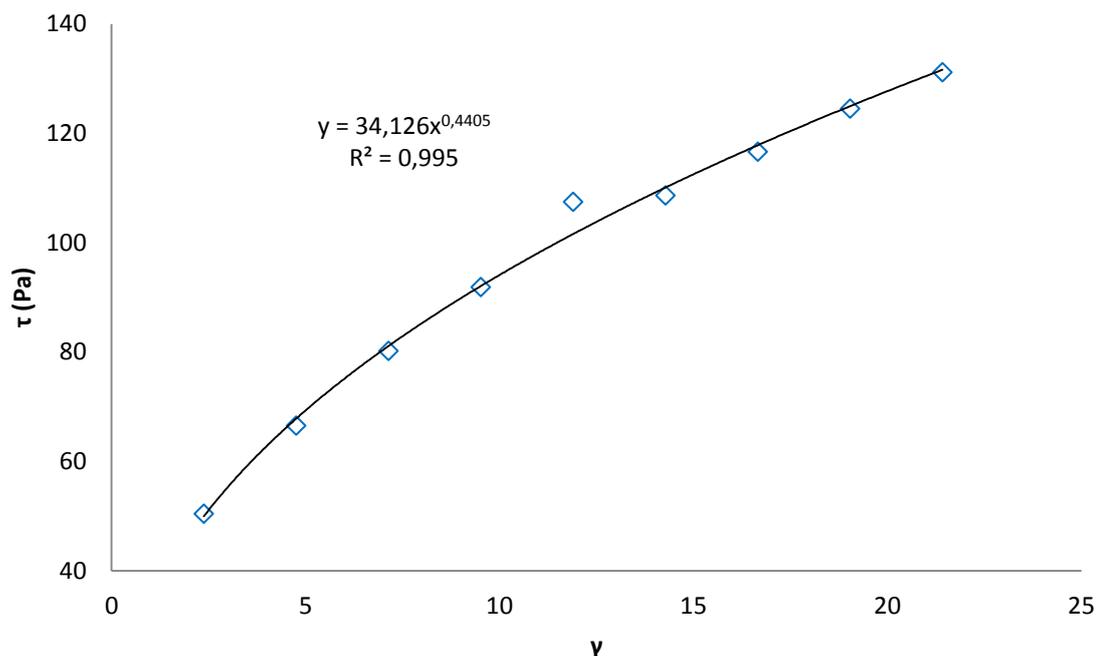
**Cuadro 12.** Valores promedio de índice de consistencia (m), índice reológico (n) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

Tratamiento	m (Pa.s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
50 pulpa:50 azúcar; 0% pectina	34,126	0,4405	0,9950
50 pulpa:50 azúcar; 0,25% pectina	38,335	0,3883	0,9970
50 pulpa:50 azúcar; 0,5% pectina	61,042	0,2911	0,9920
60 pulpa:40 azúcar; 0%pectina	66,597	0,2916	0,9857
60 pulpa:40 azúcar; 0,25% pectina	80,321	0,3414	0,9973
60 pulpa:40 azúcar; 0,5% pectina	83,160	0,3327	0,9924

Según los resultados se observa que la mermelada de naranjilla presenta un comportamiento pseudoplástico, ya que el índice reológico es menor de 1 ( $n < 1$ ) para todos los tratamientos.

YARANGA (2011) reporta comportamiento pseudoplástico para mermelada de tuna, indicando valores similares de índice reológico, que varían de 0,2450 a 0,3899.

En la Figura 6 se presenta el reograma del mejor tratamiento de mermelada de naranjilla.



**Figura 6.** Reograma del mejor tratamiento de mermelada de naranjilla.

El ANVA para determinar el efecto que tienen la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla se presenta en el Anexo-IV; el cual muestra que ambos factores tienen un efecto altamente significativo sobre el índice de consistencia ( $P_{\text{valor}} < 0,01$ ), con un nivel de confianza del 99,0%.

La comparación de medias se presenta en los Cuadros 13 y 14.

**Cuadro 13.** Comparación de medias de la concentración de pulpa:azúcar, para el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.

% pulpa:azúcar	Casos	Índice de consistencia (Pa.s <sup>n</sup> )	Sigma LS
60 pulpa:40 azúcar	6	76,6822 <sup>a</sup>	2,25689
50 pulpa:50 azúcar	6	44,7558 <sup>b</sup>	2,25689

De los resultados se puede deducir que a medida que se incrementa la concentración de pulpa, también se incrementa el índice de consistencia. Los dos niveles de pulpa:azúcar son estadísticamente diferentes entre sí, presentando un mayor índice de consistencia la formulación 60 pulpa:40 azúcar. CARMONA (2007) señala que en muestras de mermelada de albaricoque, se determinó que el incremento en el porcentaje de pulpa produce un aumento de la consistencia del producto.

**Cuadro 14.** Comparación de medias de la concentración de pectina, para el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.

<b>% pectina</b>	<b>Casos</b>	<b>Índice de consistencia (Pa.s<sup>n</sup>)</b>	<b>Sigma LS</b>
0,50	4	72,1175 <sup>a</sup>	2,76411
0,25	4	59,5285 <sup>b</sup>	2,76411
0,0	4	50,5110 <sup>b</sup>	2,76411

De los resultados, se observa que a medida que se incrementa la concentración de pectina, el índice de consistencia también se incrementa. Los niveles 0% pectina y 0,25% pectina son estadísticamente iguales, pero diferentes del nivel 0,50% pectina; generando este último un mayor índice de consistencia en la mermelada de naranjilla. En la investigación realizada por HIDALGO (2012) en mermelada de naranjilla con adición de diferentes niveles de papa china y pectina, se encontró que los tratamientos que contienen mayor concentración de pectina, presentan mayor firmeza o consistencia.

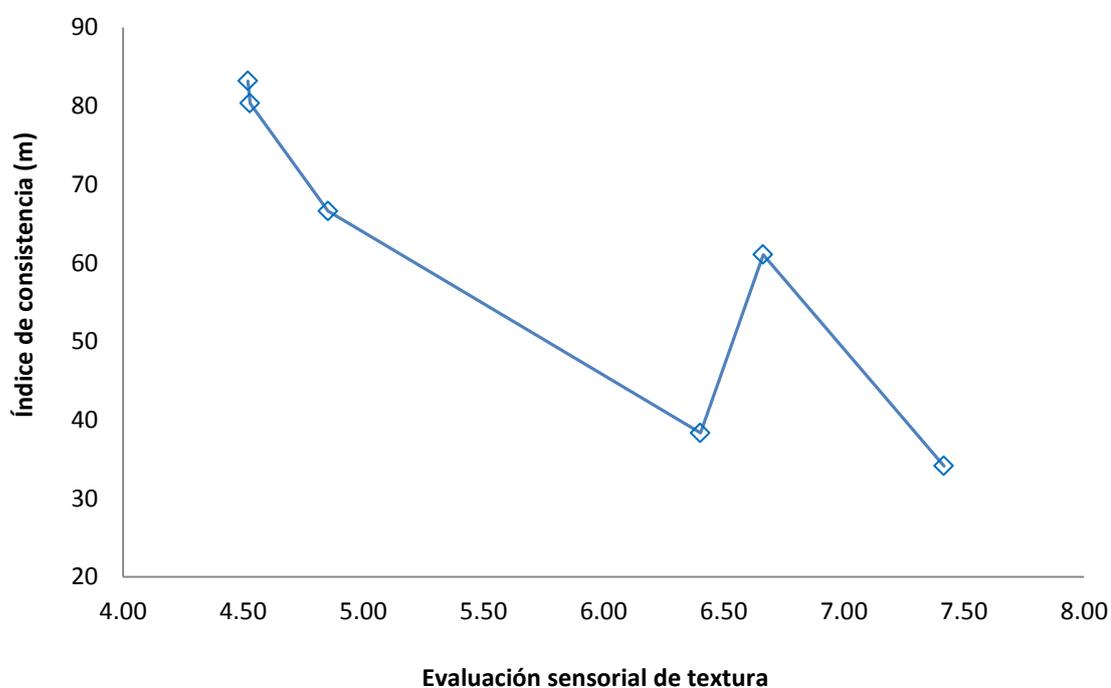
RAUCH (1970) afirma que la consistencia de la mermelada puede ajustarse aumentando o disminuyendo la cantidad de pectina.

### 4.3. Relación entre la evaluación reológica y la evaluación sensorial

La relación entre la evaluación reológica y la evaluación sensorial, respecto al atributo textura, se muestra en el Cuadro 15 y Figura 7.

**Cuadro 15.** Relación entre la evaluación sensorial del atributo textura y la evaluación reológica.

Tratamiento	Evaluación sensorial	Índice de consistencia (Pa.s <sup>n</sup> )
50 pulpa:50 azúcar; 0% pectina	7,42	34,126
50 pulpa:50 azúcar; 0,25% pectina	6,40	38,335
50 pulpa:50 azúcar; 0,5% pectina	6,66	61,042
60 pulpa:40 azúcar; 0% pectina	4,85	66,597
60 pulpa:40 azúcar; 0,25% pectina	4,53	80,321
60 pulpa:40 azúcar; 0,5% pectina	4,52	83,160



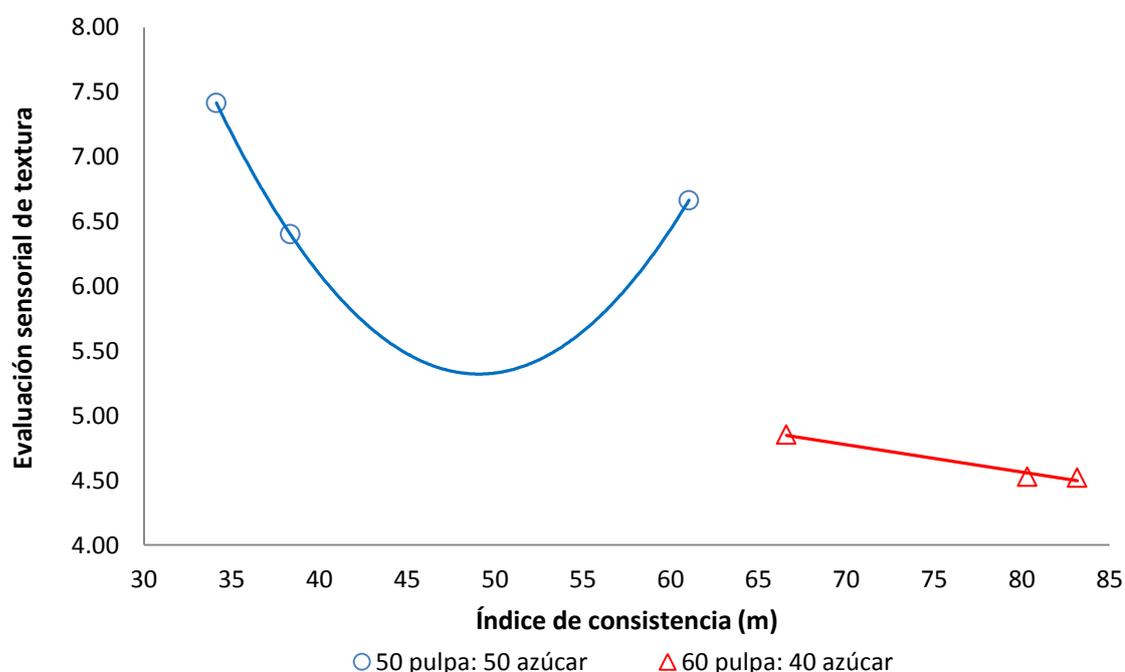
**Figura 7.** Relación entre la evaluación sensorial del atributo textura y la evaluación reológica.

Del Cuadro 15 y la Figura 7, se observa que el producto tiene mayor aceptación cuanto más bajo es el índice de consistencia; por lo tanto, existe una relación inversa entre el índice de consistencia y la apreciación sensorial de la textura de la mermelada de naranjilla.

CARMONA (2007) señala que el conocimiento reológico es importante en la evaluación de la textura del alimento mediante la correlación con datos sensoriales.

HERMIDA (2000) indica que si el objetivo del estudio es el control de productos terminados, entonces se deben relacionar las medidas reológicas con parámetros sensoriales definidos dentro de preferencias.

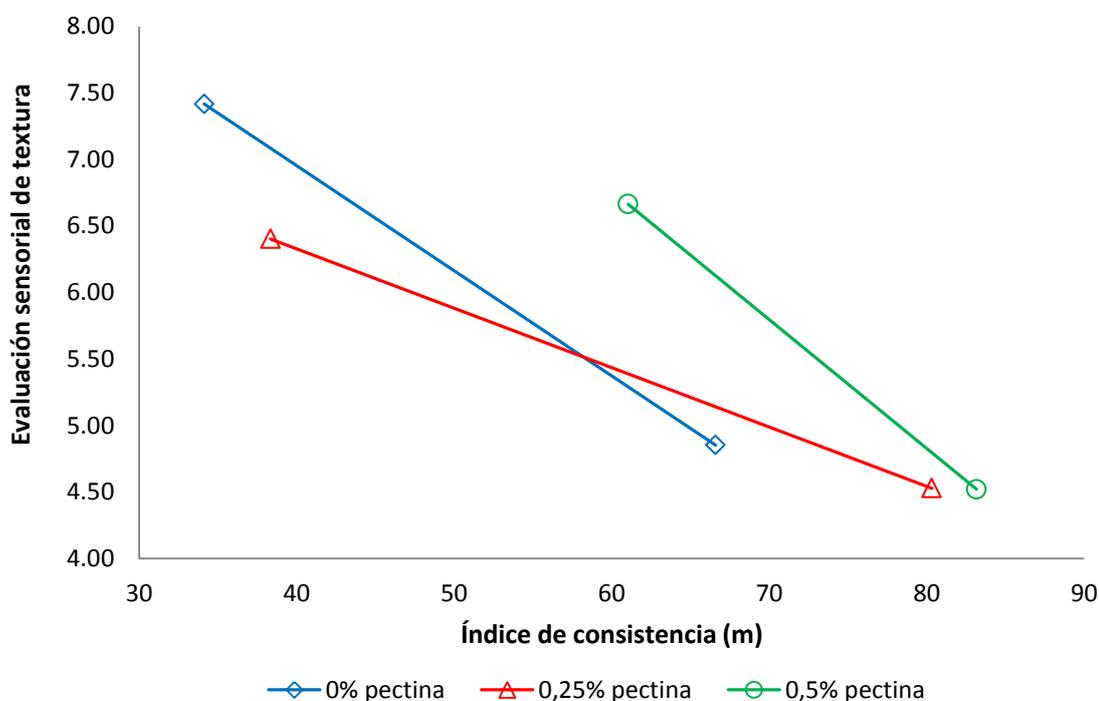
En las Figuras 8, 9, 10 y 11 se detalla la relación existente entre la evaluación reológica y la evaluación sensorial del atributo textura.



**Figura 8.** Relación entre índice de consistencia y evaluación sensorial del atributo textura, con respecto a la concentración de pulpa:azúcar.

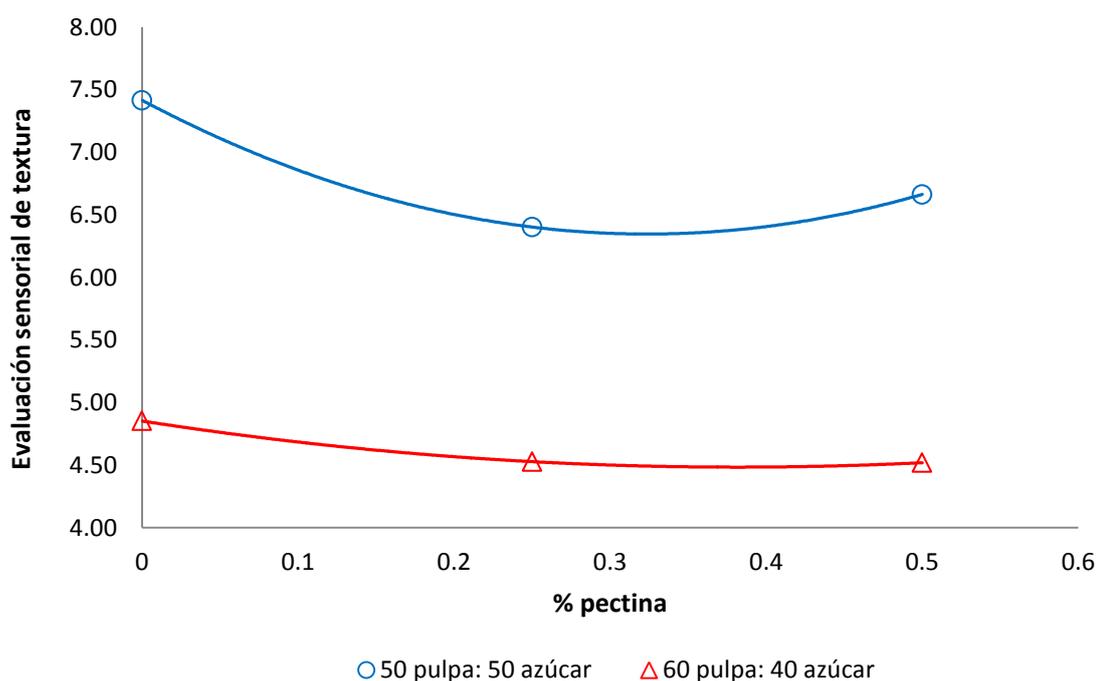
En la Figura 8 se observa que conforme se incrementa la concentración de pulpa, el índice de consistencia también se incrementa. Asimismo, cuanto más elevado es el índice de consistencia, menor aceptación tiene la textura de la mermelada. De esta manera, la formulación 60 pulpa:40 azúcar presenta índices de consistencia mayores pero tiene menor aceptación. MULLER (1973) indica que las características reológicas influyen considerablemente en la aceptación o rechazo de un producto, por parte del consumidor.

La formulación 50 pulpa:50 azúcar se ajusta mejor a una ecuación cuadrática; siendo  $y = 0,0094x^2 - 0,9203x + 27,904$  con  $R^2 = 1$ , mientras que la formulación 60 pulpa:40 azúcar se ajusta a una ecuación lineal; siendo  $y = -0,0213x + 6,2633$  con  $R^2 = 0,9808$ .



**Figura 9.** Relación entre índice de consistencia y evaluación sensorial del atributo textura, con respecto a la concentración de pectina.

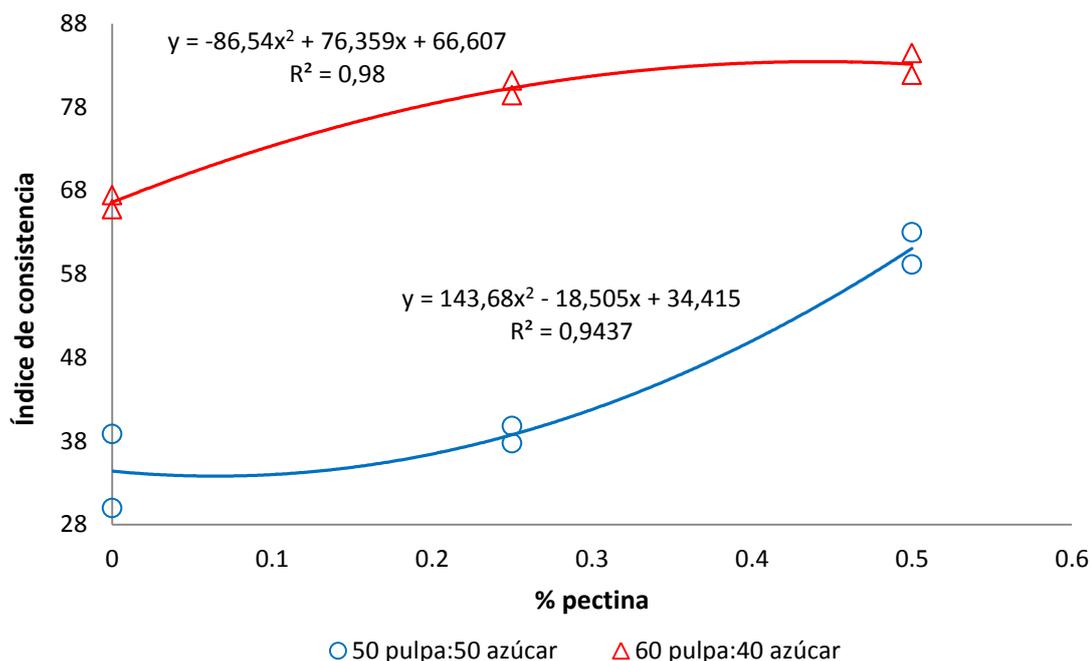
En la Figura 9 se observa que a medida que se incrementa la concentración de pectina, también lo hace el índice de consistencia. Los tratamientos que tienen menor concentración de pectina y por ende menor índice de consistencia, tienen una mayor aceptación.



**Figura 10.** Relación entre concentración de pectina y evaluación sensorial del atributo textura.

De la Figura 10 se deduce que cuanto más elevada es la concentración de pectina, menor aceptación tiene la textura de la mermelada. Se observa que los tratamientos correspondientes a 60 pulpa:40 azúcar tienen menor aceptación que aquellos correspondientes a 50 pulpa:50 azúcar.

Dichas formulaciones se ajustan adecuadamente a una ecuación cuadrática, siendo  $y = 10,2x^2 - 6,6056x + 7,4167$  con  $R^2 = 1$  para 50 pulpa:50 azúcar y,  $y = 2,5333x^2 - 1,9333x + 4,8528$  con  $R^2 = 1$  para 60 pulpa:40 azúcar.



**Figura 11.** Relación entre concentración de pectina e índice de consistencia de los diferentes tratamientos de mermelada de naranjilla.

En la Figura 11 se observa que existe una relación directa entre la concentración de pectina y el índice de consistencia; ya que conforme se incrementa la concentración de pectina, también se incrementa el índice de consistencia.

Los tratamientos con 60 pulpa:40 azúcar presentan mayores índices de consistencia que los tratamientos con 50 pulpa:50 azúcar.

HIDALGO (2012) menciona que la acción de la pectina depende de las concentraciones de azúcar y ácido en la formulación de la mermelada; por lo que si se disminuye la concentración de azúcar, la pectina se verá afectada formando un gel débil.

Por lo tanto, se puede conjeturar que la naranjilla posiblemente contenga una buena concentración de pectina en su composición y ésta sea de

elevada calidad; por ello, al sustituir parte del azúcar por pulpa de fruta se obtiene una mermelada más consistente.

En el Cuadro 16 se presentan las ecuaciones deducidas de la Figura 11.

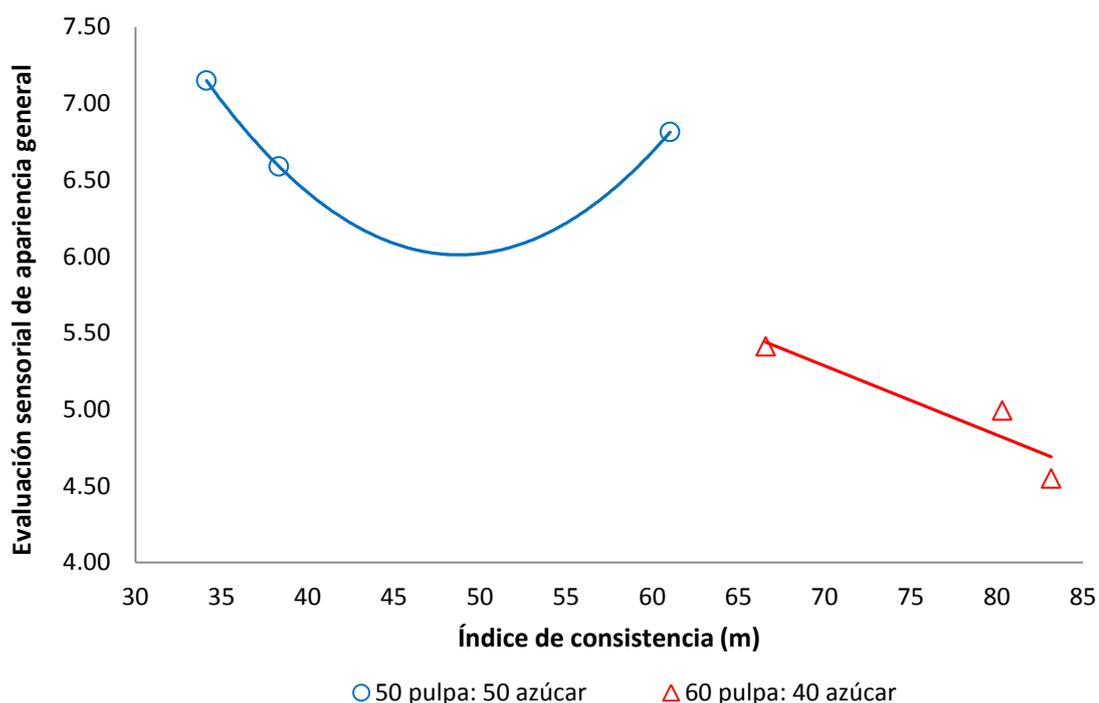
**Cuadro 16.** Ecuaciones de la variación del índice de consistencia en función de la concentración de pectina, para los diferentes niveles de pulpa:azúcar.

<b>%pulpa:azúcar</b>	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
50 : 50	$y = 143,68x^2 - 18,505x + 34,415$	0,9437
60 : 40	$y = -86,54x^2 + 76,359x + 66,607$	0,980

**Donde:**  $y$  = índice de consistencia,  $x$  = concentración de pectina en porcentaje.

En la Figura 12 se detalla la relación existente entre la evaluación reológica y la evaluación sensorial del atributo apariencia general, en ella se observa que un mayor índice de consistencia genera una menor aceptación de la apariencia general de la mermelada.

Todos los tratamientos que tienen una mayor concentración de pulpa presentan índices de consistencia más elevados y en consecuencia una menor aceptación.



**Figura 12.** Relación entre índice de consistencia y evaluación sensorial del atributo apariencia general.

La formulación 50 pulpa:50 azúcar se ajusta mejor a una ecuación cuadrática; siendo  $y = 0,0053x^2 - 0,5189x + 18,661$  con  $R^2 = 1$ , mientras que la formulación 60 pulpa:40 azúcar se ajusta a una ecuación lineal; siendo  $y = -0,0453x + 8,4579$  con  $R^2 = 0,8629$ .

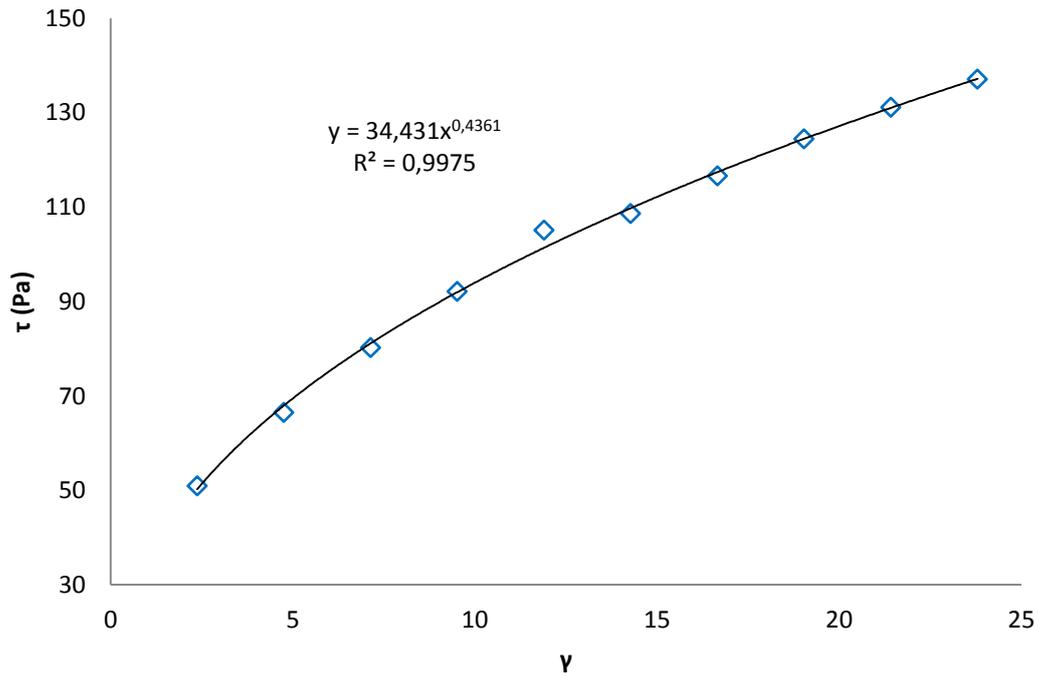
#### 4.4. De la evaluación reológica en el almacenamiento

Se realizó la evaluación reológica de las muestras almacenadas a temperaturas de 40, 53 y 60 °C, cuyos resultados se presentan en el Cuadro 17. CASP y ABRIL (2003) manifiestan que las pruebas aceleradas implican el uso de altas temperaturas en las experiencias para conocer las pérdidas de calidad del alimento y su vida útil.

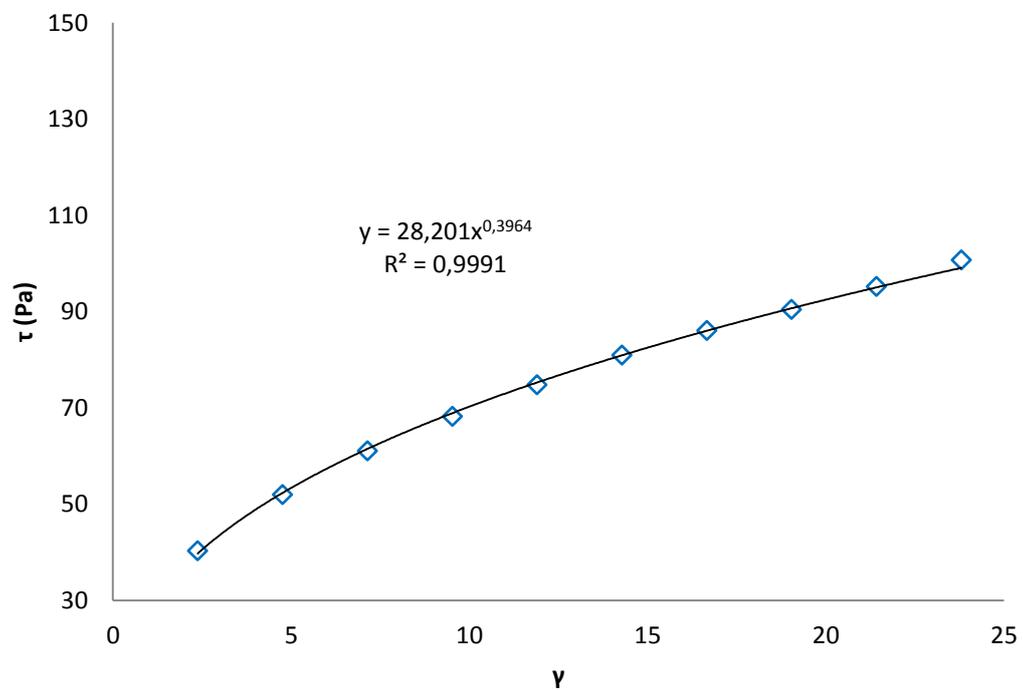
**Cuadro 17.** Valores promedio de índice de consistencia (m) e índice reológico (n) de la mermelada de naranjilla, almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Días	n	m (Pa.s <sup>n</sup> )
40 °C	1	0,4361	34,4310
	15	0,4671	31,8664
	25	0,4060	30,2005
	30	0,4018	29,1810
	40	0,3964	28,2005
53 °C	1	0,4361	34,4310
	10	0,3939	30,6710
	15	0,4598	30,2864
	25	0,4106	27,2955
	30	0,4099	27,0575
	40	0,4016	26,6520
60 °C	1	0,4361	34,4310
	5	0,4057	33,4700
	10	0,4312	30,4280
	15	0,4251	30,1634
	25	0,3570	26,7775
	30	0,3566	26,6695
	40	0,3505	26,3780

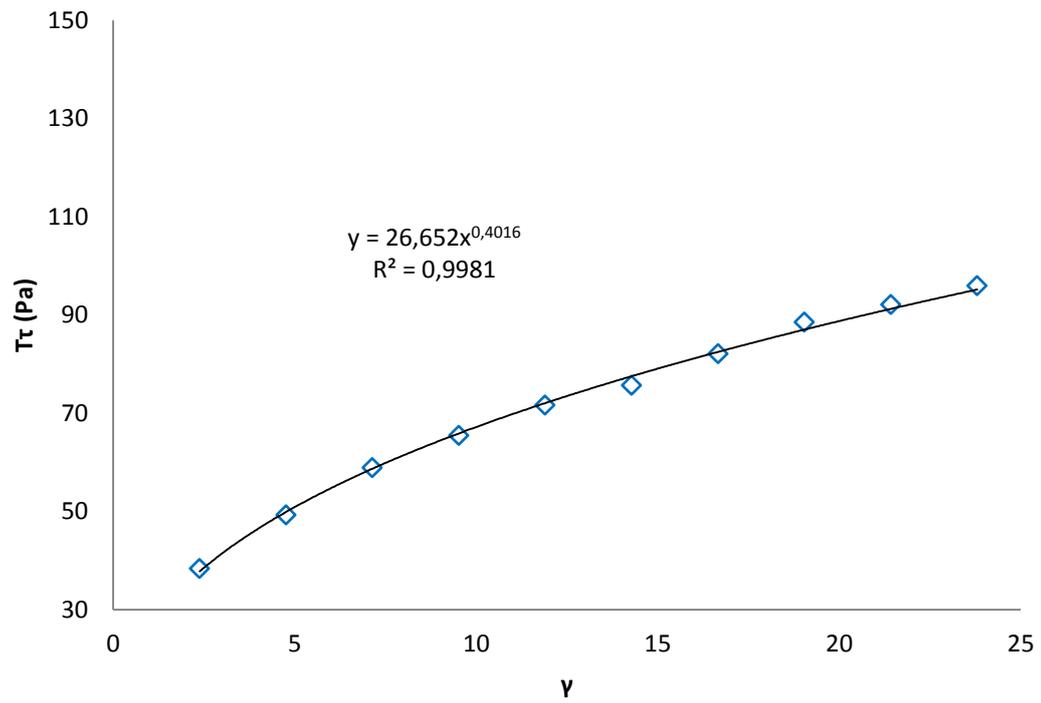
En las Figuras 13, 14, 15 y 16 se presentan los reogramas de cada tratamiento, al inicio y al final del periodo de almacenamiento.



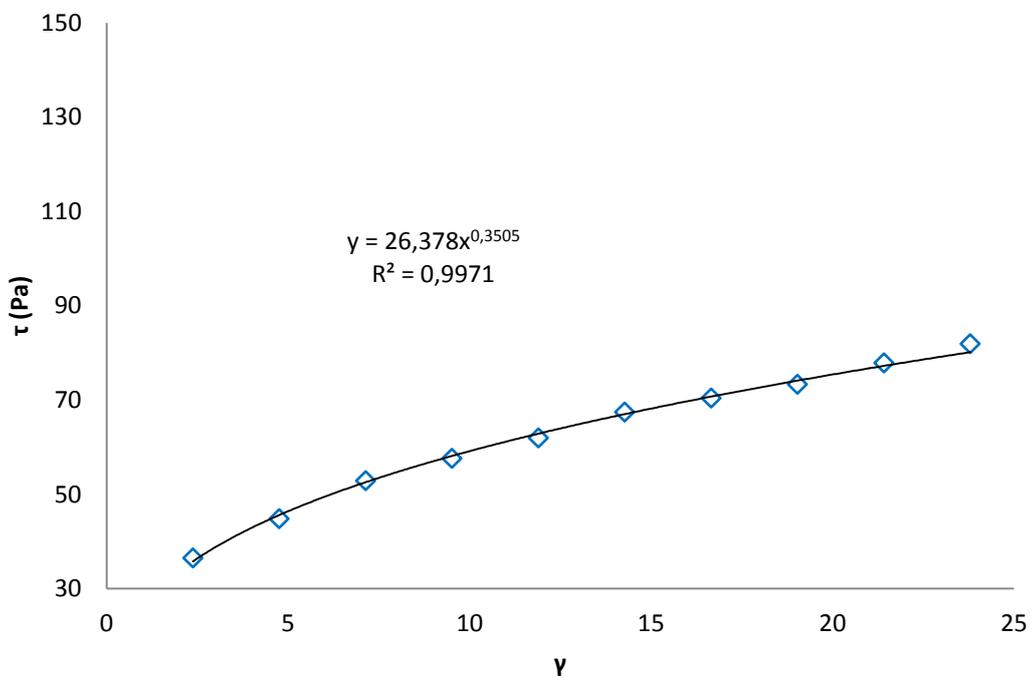
**Figura 13.** Reograma de mermelada de naranjilla antes del almacenamiento.



**Figura 14.** Reograma de mermelada de naranjilla a 40 °C a los 40 días.



**Figura 15.** Reograma de mermelada de naranjilla a 53 °C a los 40 días.



**Figura 16.** Reograma de mermelada de naranjilla a 60 °C a los 40 días.

En el Cuadro 17 y las Figuras 13, 14 15 y 16 se aprecia que el índice de consistencia decrece conforme se incrementa la temperatura. Del mismo modo, a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento el índice de consistencia disminuye.

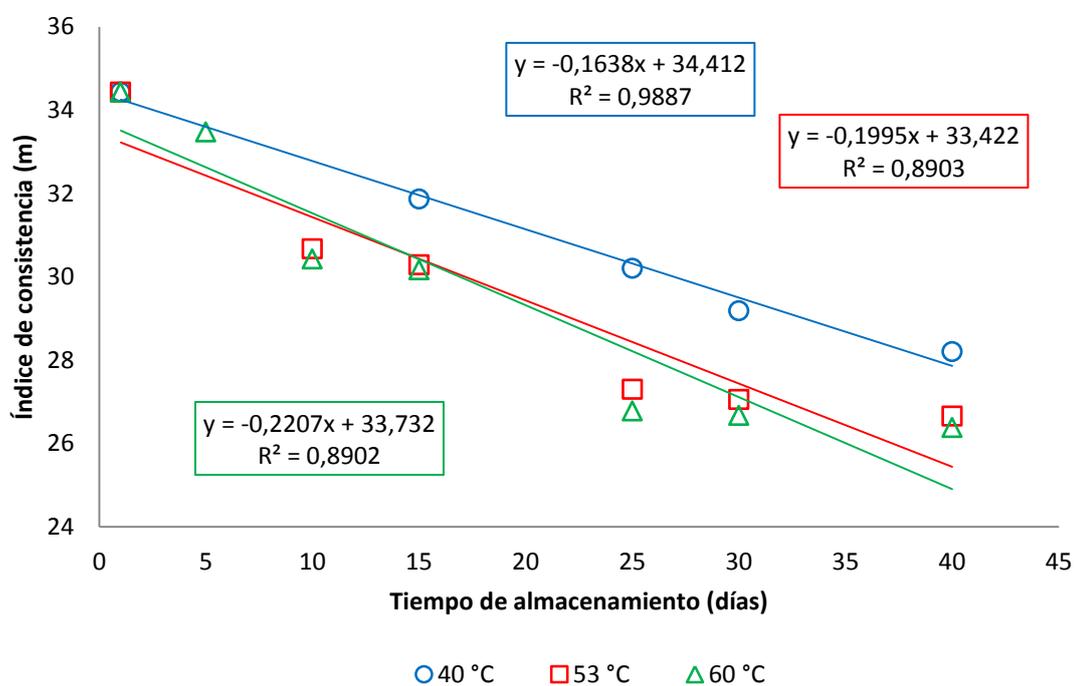
COLQUICHAGUA (2005), RAUCH (1970) y MEYER (1996) afirman que un calor prolongado causa la hidrólisis de la pectina destruyendo sus propiedades gelatinizantes. Por lo cual, se puede conjeturar que la pectina de la mermelada de naranjilla perdió progresivamente su poder gelificante al permanecer a altas temperaturas durante el tiempo de almacenamiento; y ello se vio reflejado en un descenso del índice de consistencia.

**- Determinación del orden de reacción y coeficiente de velocidad de reacción (K) para la cinética de pérdida de textura**

Los valores experimentales empleados para el ajuste a los órdenes de reacción cero y uno, se presentan en los Cuadros 18 y 19 y en las Figuras 17 y 18, respectivamente.

**Cuadro 18.** Índice de consistencia de la mermelada de naranjilla en almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.

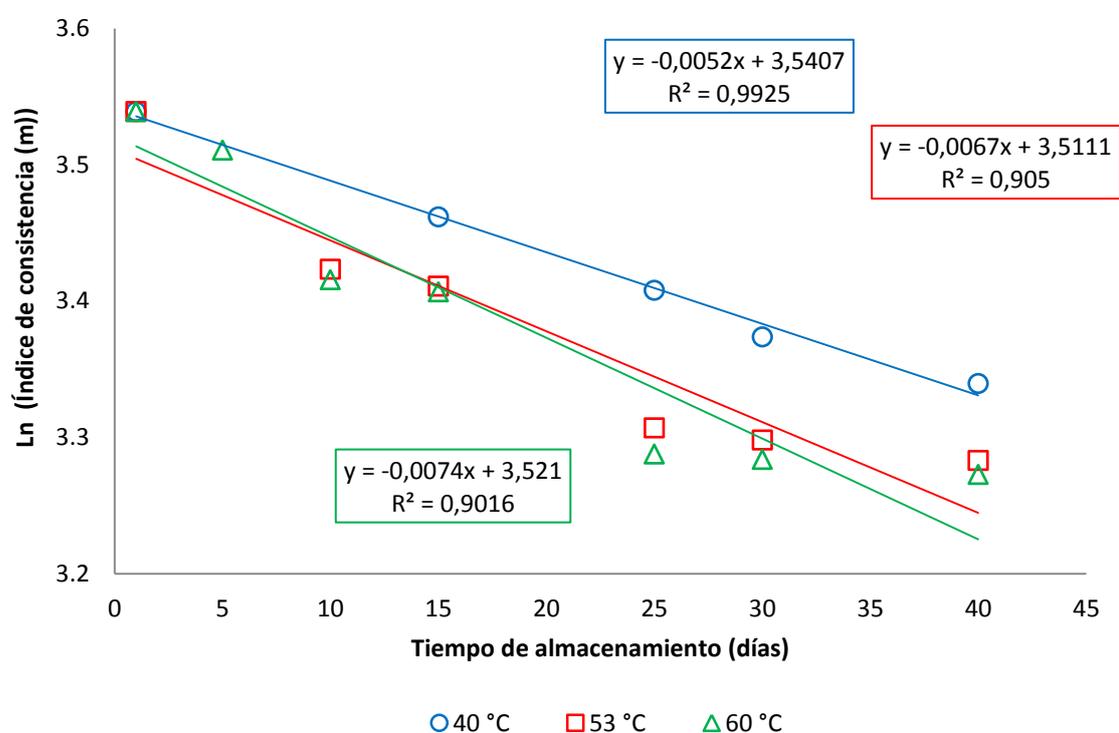
Día	Índice de consistencia (m) (Pa.s <sup>n</sup> )		
	40 °C	53 °C	60 °C
1	34,4310	34,4310	34,4310
5			33,4700
10		30,6710	30,4280
15	31,8664	30,2864	30,1634
25	30,2005	27,2955	26,7775
30	29,1810	27,0575	26,6695
40	28,2005	26,6520	26,3780



**Figura 17.** Índice de consistencia de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.

**Cuadro 19.** Índice de consistencia de la mermelada de naranjilla en almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.

Día	Ln (Índice de consistencia (m) (Pa.s <sup>n</sup> ))		
	40 °C	53 °C	60 °C
1	3,538957321	3,538957321	3,538957321
5			3,510649515
10		3,423317583	3,415363237
15	3,461552163	3,410698767	3,406629269
25	3,407858481	3,306721853	3,287561983
30	3,373517813	3,297964231	3,283520590
40	3,339339708	3,282864195	3,272530329



**Figura 18.** Índice de consistencia de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.

Los resultados obtenidos de la regresión lineal, considerando órdenes de reacción cero y uno, se presentan en el Cuadro 20.

**Cuadro 20.** Coeficiente de velocidad de reacción (K) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para órdenes de reacción cero y uno.

Temperatura (°C)	Orden cero		Primer orden	
	K	$R^2$	K	$R^2$
40	0,1638	0,9887	0,0052	0,9925
53	0,1995	0,8903	0,0067	0,9050
60	0,2207	0,8902	0,0074	0,9016

Del Cuadro 20 se promediaron los valores de  $R^2$  de cada orden de reacción, encontrando que el primer orden es el que mejor se ajusta a la cinética de pérdida de textura de la mermelada de naranjilla con  $R^2_{\text{promedio}} = 0,9330$ ; lo cual concuerda con lo reportado por YARANGA (2011), quien señala que la cinética de deterioro de mermelada de tuna, por pérdida de textura, se ajusta adecuadamente a una ecuación de orden uno con  $R^2 > 0,98$ .

CASP y ABRIL (2003) indican que la pérdida de textura en tratamientos térmicos responde a una cinética de primer orden.

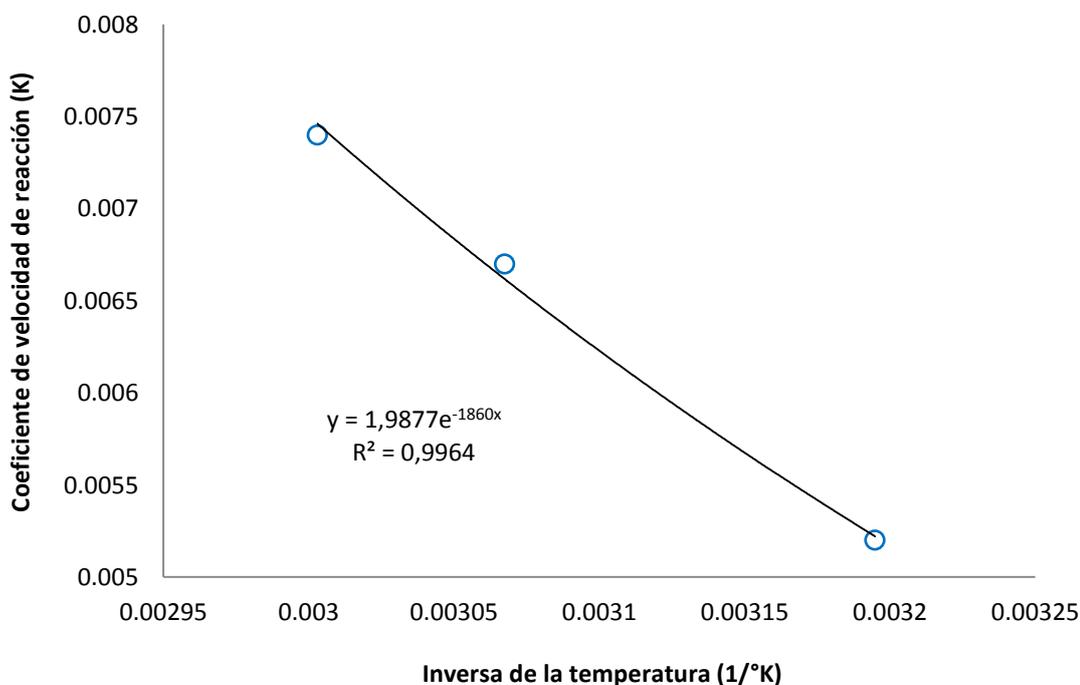
Díaz (2004) citado por GARCIA *et al.* (2011) manifiesta que los cambios en los atributos de los alimentos, como el color, textura y sabor, responden a modelos cinéticos de orden cero o de primer orden.

**- Determinación de la energía de activación (Ea) para la cinética de pérdida de textura**

Los coeficientes de velocidad de reacción (K) de primer orden a diferentes temperaturas mostrados en el Cuadro 20, se ajustaron al modelo de Arrhenius. Los resultados se presentan en el Cuadro 21 y Figura 19.

**Cuadro 21.** Coeficientes de velocidad de reacción (K) de la pérdida de textura de mermelada de naranjilla.

Temperatura		1 / °K	Primer orden
°C	°K		K
40	313	0,0031949	0,0052
53	326	0,0030675	0,0067
60	333	0,0030030	0,0074



**Figura 19.** Relación del coeficiente de velocidad de reacción (K) de primer orden con la inversa de la temperatura.

Del Cuadro 21 se observa que los coeficientes de velocidad de reacción presentan una relación directa con la temperatura. VIADES (2012) indica que la velocidad de reacción se incrementa conforme la temperatura aumenta.

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

$$K = 1,9877e^{(-1860/T)}$$

$$\frac{Ea}{R} = \frac{Ea}{1,98717 \text{ cal. mol}^{-1}\text{K}^{-1}} = 1860$$

$$Ea = 3,696 \text{ kcal/mol}$$

Se obtuvo una energía de activación de 3,696 kcal/mol para la pérdida de textura de la mermelada de naranjilla, que siguió una cinética de primer orden. Este valor es menor al reportado por YARANGA (2011), quien obtuvo una  $Ea = 11,57725$  kcal/mol para pérdida de textura de mermelada de tuna; almacenada a 30, 40 y 50 °C durante 30 días.

El ANVA para determinar el efecto que tienen el tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla se presenta en el Anexo-V; el cual muestra que ambos factores tienen un efecto altamente significativo sobre el índice de consistencia ( $P_{\text{valor}} < 0,01$ ), con un nivel de confianza del 99,0%.

Por consiguiente, se hizo la comparación de medias presentada en los Cuadros 22 y 23.

**Cuadro 22.** Comparación de medias del tiempo de almacenamiento, para el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.

Tiempo (días)	Casos	Índice de consistencia (Pa.s <sup>n</sup> )	Sigma LS
1	3	34,4310 <sup>a</sup>	0,369401
5	1	34,1861 <sup>a</sup>	0,676116
10	2	31,1367 <sup>b</sup>	0,467260
15	3	30,7721 <sup>b</sup>	0,369401
25	3	28,0912 <sup>c</sup>	0,369401
30	3	27,6360 <sup>c</sup>	0,369401
40	3	27,0768 <sup>c</sup>	0,369401

De la comparación de medias se observa que a medida que transcurre el tiempo, el índice de consistencia disminuye; es decir, la mermelada de naranjilla pierde textura. Los días 1 y 5 son estadísticamente iguales; presentando un escenario similar los días 10 y 15 y también los días 25, 30 y 40; observándose un mayor índice de consistencia al inicio del almacenamiento.

**Cuadro 23.** Comparación de medias de la temperatura de almacenamiento, para el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.

Temperatura (°C)	Casos	Índice de consistencia (Pa.s <sup>n</sup> )	Sigma LS
40	5	31,6502 <sup>a</sup>	0,31376
53	6	30,0173 <sup>b</sup>	0,27924
60	7	29,7596 <sup>b</sup>	0,24183

De la comparación de medias se observa que conforme se incrementa la temperatura, el índice de consistencia disminuye; traduciéndose en una pérdida de la textura del producto. Las temperaturas correspondientes a 53 °C y 60 °C son estadísticamente iguales, pero diferentes de 40 °C; presentando este último tratamiento un mayor índice de consistencia.

Javanmard (2010) citado por DÍAZ (2014) señala que en estudios realizados en diferentes tipos de mermelada de fruta, se determinó que la viscosidad disminuye con el aumento de la temperatura.

MATOS y AGUILAR (2010) y YARANGA (2011) reportaron que existe una influencia negativa de la temperatura sobre el índice de consistencia de pulpa de tuna y mermelada de tuna, respectivamente.

EARLE (1979) y CARMONA (2007) indican que la viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura; si la temperatura se incrementa, la viscosidad disminuye.

#### **4.4.1. De la evaluación del color**

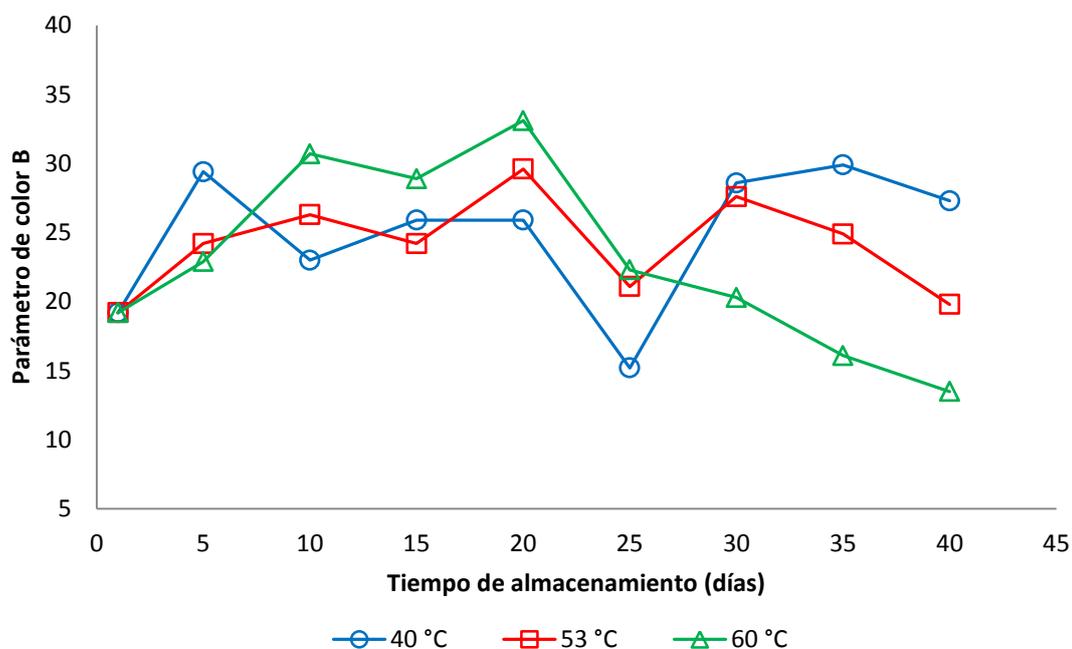
En el Cuadro 24 se presenta los resultados de la evaluación del color de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas; en el que se observa que los parámetros R y G disminuyen conforme el tiempo y la temperatura de almacenamiento aumentan.

A medida que se incrementa la temperatura, dichos parámetros decrecen a mayor velocidad.

**Cuadro 24.** Variación de los parámetros R, G y B de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Día	Parámetro		
		R	G	B
40	1	97,3	53,0	19,2
	5	88,8	52,9	29,4
	10	81,7	44,3	23,0
	15	77,7	44,0	25,9
	20	72,2	41,2	25,9
	25	65,9	33,4	15,2
	30	62,1	39,4	28,6
	35	58,7	39,0	29,9
	40	54,5	36,2	27,3
53	1	97,3	53,0	19,2
	5	82,0	47,2	24,2
	10	79,3	44,4	26,3
	15	72,0	39,1	24,2
	20	62,8	36,5	29,6
	25	53,6	30,0	21,1
	30	48,5	31,7	27,6
	35	40,4	27,3	24,9
	40	31,5	21,8	19,8
60	1	97,3	53,0	19,2
	5	71,3	38,8	22,9
	10	65,5	38,0	30,7
	15	61,1	35,4	28,9
	20	51,5	35,0	33,1
	25	35,0	24,9	22,3
	30	28,6	19,9	20,3
	35	22,0	16,5	16,1
	40	18,2	14,1	13,5

El parámetro B no tiene correlación con el tiempo y temperatura de almacenamiento, lo cual se aprecia en la Figura 20.



**Figura 20.** Variación del parámetro B de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas.

En el Cuadro 25 se presenta mediante fotografías, la variación de color de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas.

**Cuadro 25.** Fotografías de la variación del color de la mermelada de naranjilla, almacenada a diferentes temperaturas.

Tratamiento	Día 1	Día 5	Día 10	Día 15	Día 20	Día 25	Día 30	Día 35	Día 40
40 °C									
53 °C									
60 °C									

Del Cuadro 25 se observa que las muestras de mermelada de los tres tratamientos presentaron una variación progresiva del color durante el tiempo de almacenamiento, llegando a adquirir tonalidades oscuras, resultantes del pardeamiento no enzimático. También se observa que el cambio de color es más acentuado conforme se incrementa la temperatura.

CHEFTEL y CHEFTEL (1976) señalan que las reacciones de pardeamiento no enzimático genera la formación de pigmentos pardos o negros, viéndose aceleradas estas reacciones por las temperaturas elevadas. El pardeamiento no enzimático se presenta durante los procesos tecnológicos o el almacenamiento.

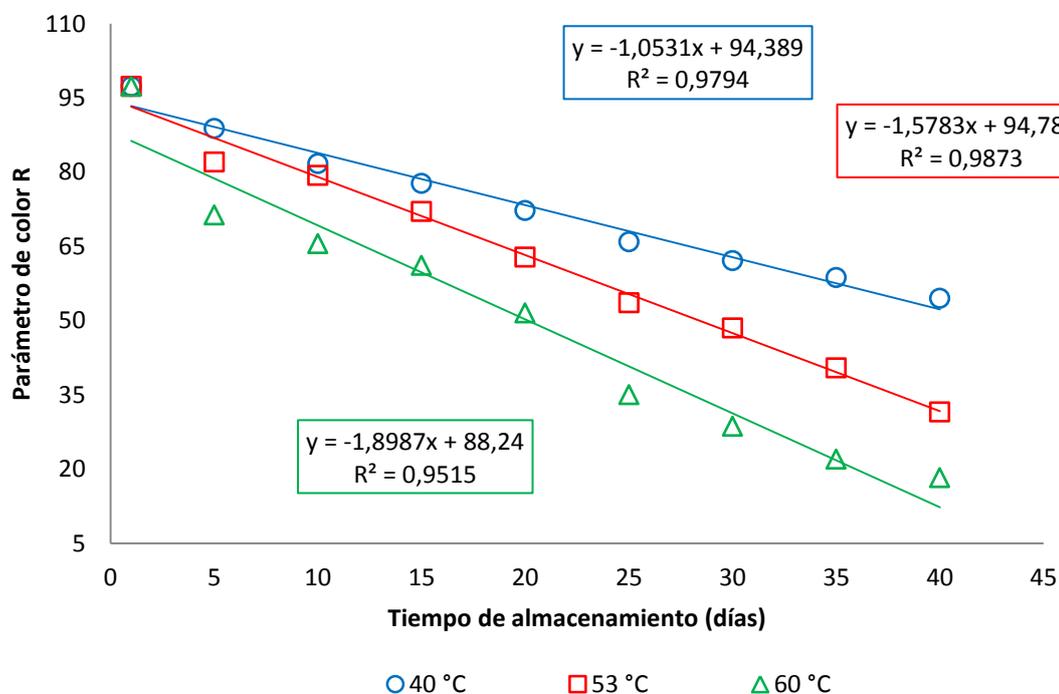
COLQUICHAGUA, (2005); RAUCH (1970) y MEYER (1996) indican que una cocción prolongada provoca la caramelización de la mermelada.

**- Determinación del orden de reacción y coeficiente de velocidad de reacción (K), para la cinética de variación de color**

Los valores experimentales del parámetro R empleados para el ajuste a los órdenes de reacción cero, uno y dos se presentan en los Cuadros 26, 27 y 28 y las Figuras 21, 22 y 23, respectivamente.

**Cuadro 26.** Parámetro R de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.

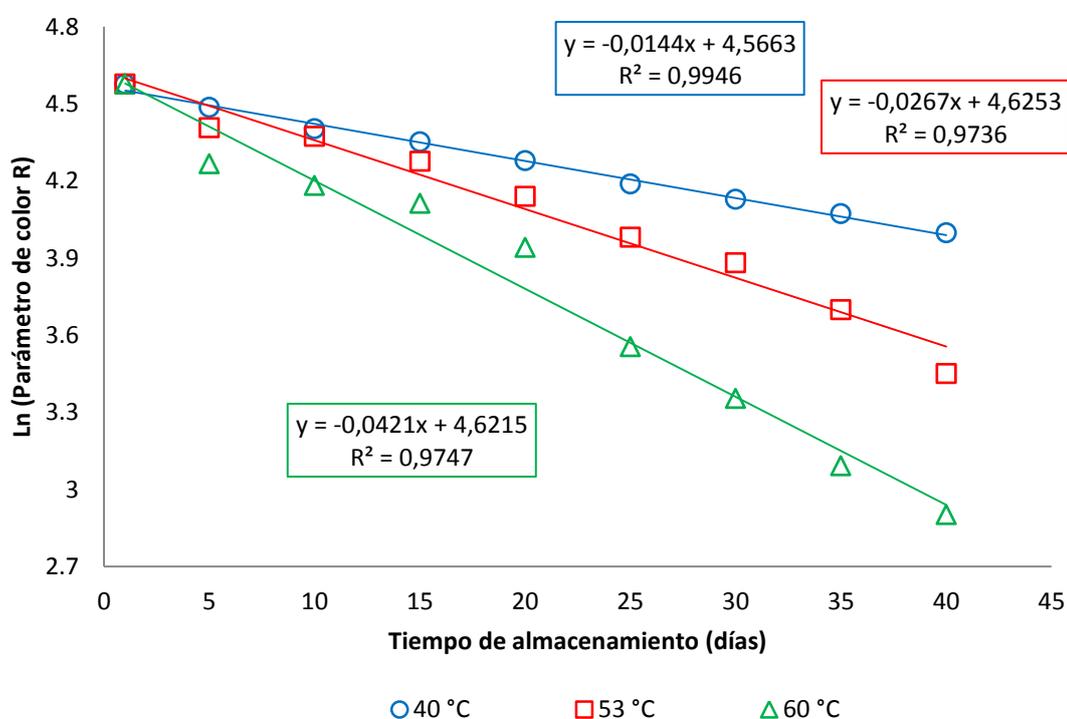
Día	Parámetro R		
	40 °C	53 °C	60 °C
1	97,3	97,3	97,3
5	88,8	82,0	71,3
10	81,7	79,3	65,5
15	77,7	72,0	61,1
20	72,2	62,8	51,5
25	65,9	53,6	35,0
30	62,1	48,5	28,6
35	58,7	40,4	22,0
40	54,5	31,5	18,2



**Figura 21.** Parámetro R Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.

**Cuadro 27.** Parámetro R de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.

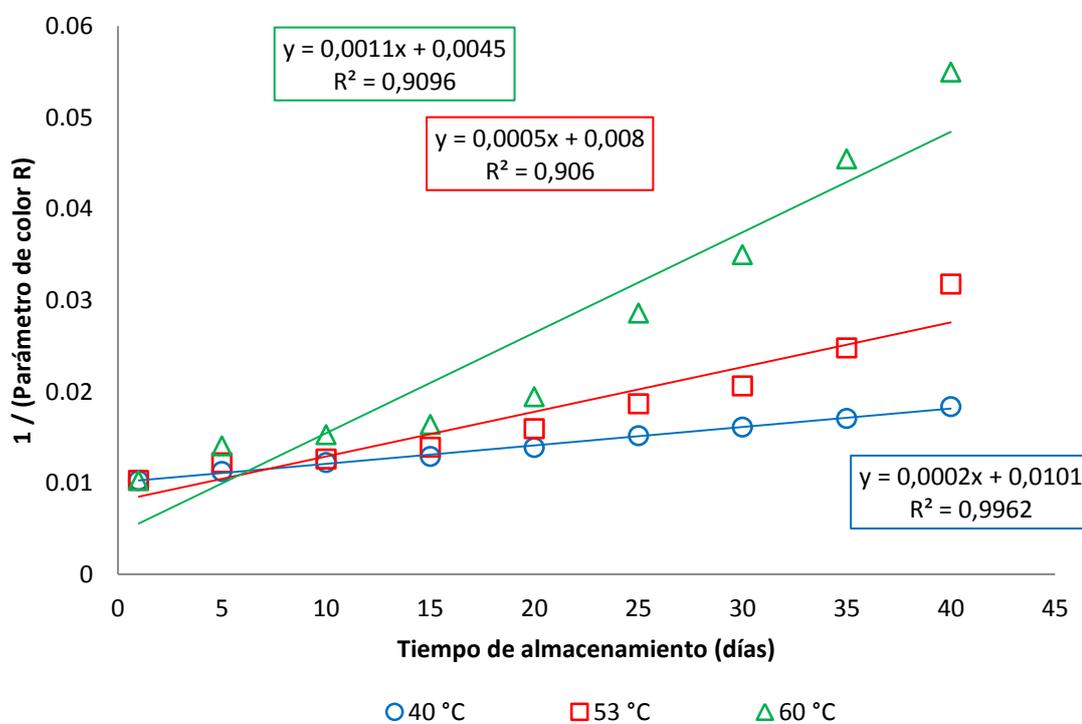
Día	Ln (Parámetro R)		
	40 °C	53 °C	60 °C
1	4,57779899	4,577798989	4,57779899
5	4,48638665	4,406719247	4,26689633
10	4,40305400	4,373238129	4,18205014
15	4,35285526	4,276666119	4,11251187
20	4,27944005	4,139955073	3,94158181
25	4,18813844	3,981549068	3,55534806
30	4,12874599	3,881563798	3,35340672
35	4,07243973	3,698829785	3,09104245
40	3,99820070	3,449987546	2,90142159



**Figura 22.** Parámetro R Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.

**Cuadro 28.** Parámetro R de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de segundo orden.

Día	1 / (Parámetro R)		
	40 °C	53 °C	60 °C
1	0,01027749	0,01027749	0,01027749
5	0,01126126	0,01219512	0,01402525
10	0,01223990	0,01261034	0,01526718
15	0,01287001	0,01388889	0,01636661
20	0,01385042	0,01592357	0,01941748
25	0,01517451	0,01865672	0,02857143
30	0,01610306	0,02061856	0,03496503
35	0,01703578	0,02475248	0,04545455
40	0,01834862	0,03174603	0,05494505

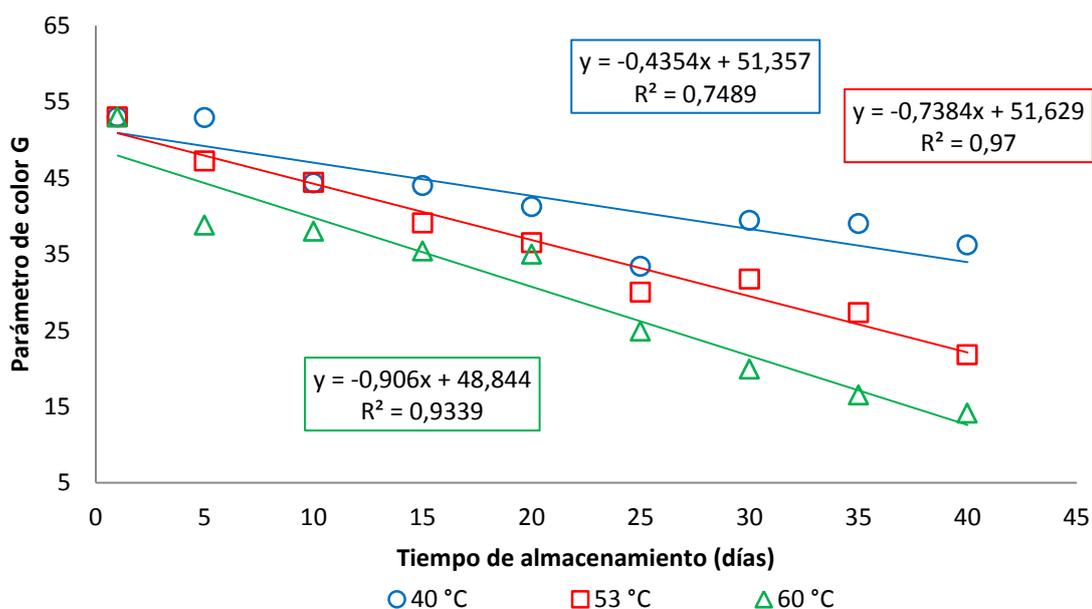


**Figura 23.** Parámetro R Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de segundo orden.

Los valores experimentales del parámetro G empleados para el ajuste a los órdenes de reacción cero, uno y dos se presentan en el los Cuadros 29, 30 y 31 y las Figuras 24,25 y 26, respectivamente.

**Cuadro 29.** Parámetro G de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.

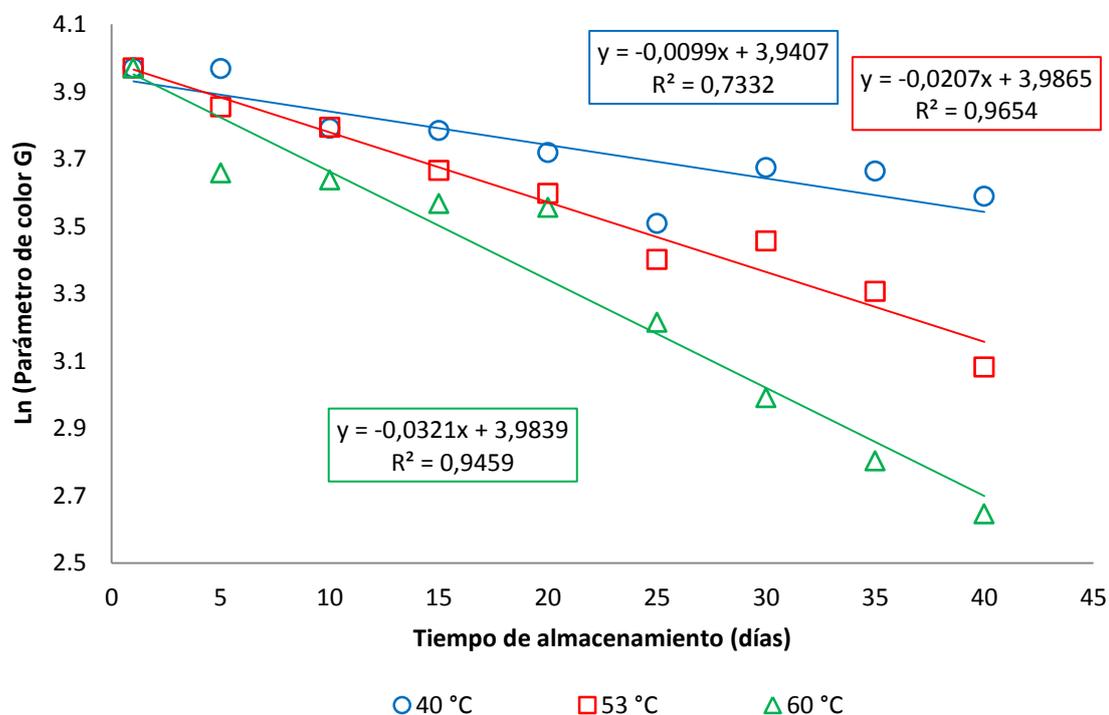
Día	Parámetro G		
	40 °C	53 °C	60 °C
1	53,0	53,0	53,0
5	52,9	47,2	38,8
10	44,3	44,4	38,0
15	44,0	39,1	35,4
20	41,2	36,5	35,0
25	33,4	30,0	24,9
30	39,4	31,7	19,9
35	39,0	27,3	16,5
40	36,2	21,8	14,1



**Figura 24.** Parámetro G Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de orden cero.

**Cuadro 30.** Parámetro G de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.

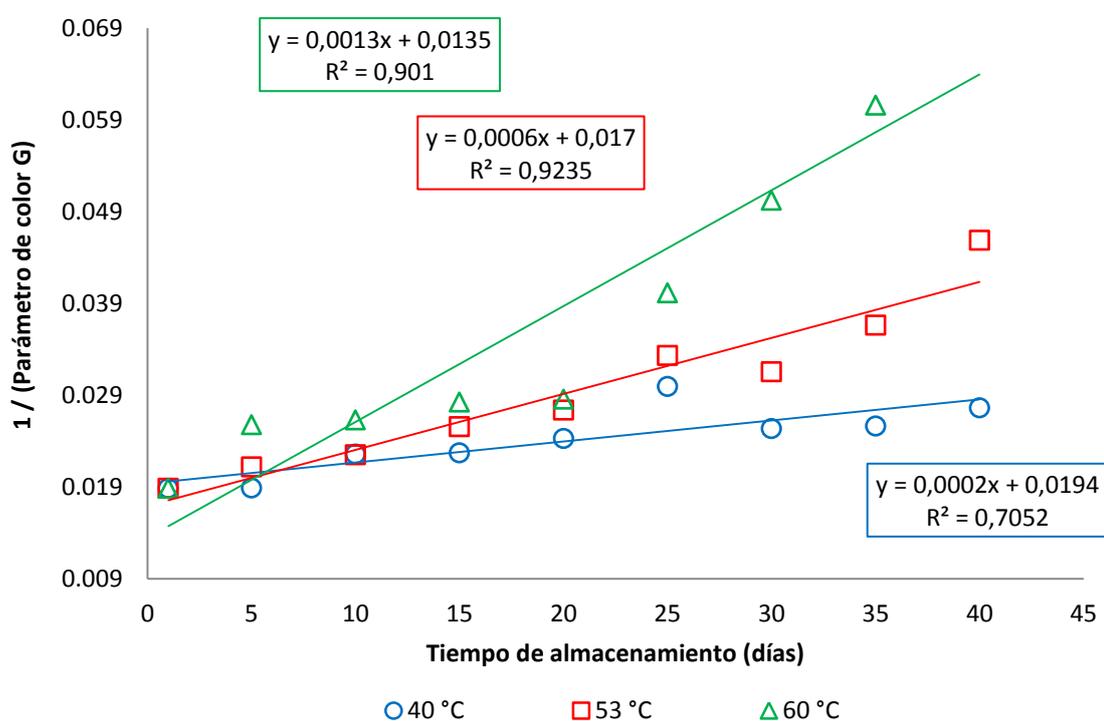
Día	Ln (Parámetro G)		
	40 °C	53 °C	60 °C
1	3,97029191	3,970291914	3,97029191
5	3,96840334	3,854393893	3,65842025
10	3,79098468	3,793239469	3,63758616
15	3,78418963	3,666122467	3,56671182
20	3,71843826	3,597312261	3,55534806
25	3,50855590	3,401197382	3,21486780
30	3,67376582	3,456316681	2,99071973
35	3,66356165	3,306886702	2,80336038
40	3,58905912	3,081909970	2,64617480



**Figura 25.** Parámetro G Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de primer orden.

**Cuadro 31.** Parámetro G de la mermelada de naranjilla almacenada a diferentes temperaturas. Cinética de segundo orden.

Día	1 / (Parámetro G)		
	40 °C	53 °C	60 °C
1	0,01886792	0,01886792	0,01886792
5	0,01890359	0,02118644	0,02577320
10	0,02257336	0,02252252	0,02631579
15	0,02272727	0,02557545	0,02824859
20	0,02427184	0,02739726	0,02857143
25	0,02994012	0,03333333	0,04016064
30	0,02538071	0,03154574	0,05025126
35	0,02564103	0,03663004	0,06060606
40	0,02762431	0,04587156	0,07092199



**Figura 26.** Parámetro G Vs. tiempo de almacenamiento a diferentes temperaturas. Cinética de segundo orden.

Los resultados obtenidos de la regresión lineal, considerando órdenes de reacción cero, uno y dos se presentan en los Cuadro 32 y 33 para los parámetros R y G, respectivamente.

**Cuadro 32.** Coeficiente de velocidad de reacción (K) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para órdenes de reacción cero, uno y dos; del parámetro R.

Temperatura (°C)	Orden Cero		Primer Orden		Segundo Orden	
	K	$R^2$	K	$R^2$	K	$R^2$
40	1,0531	0,9794	0,0144	0,9946	0,0002	0,9962
53	1,5783	0,9873	0,0267	0,9736	0,0005	0,9060
60	1,8987	0,9515	0,0421	0,9747	0,0011	0,9096

Del Cuadro 32 se promediaron los valores de  $R^2$  de cada orden de reacción, encontrando que el orden cero se ajusta adecuadamente a la cinética de variación de color de la mermelada de naranjilla, con respecto al parámetro R, con  $R^2_{\text{promedio}} = 0,9727$ .

**Cuadro 33.** Coeficiente de velocidad de reacción (K) y coeficiente de determinación ( $R^2$ ), para órdenes de reacción cero, uno y dos; del parámetro G.

Temperatura (°C)	Orden Cero		Primer Orden		Segundo Orden	
	K	$R^2$	K	$R^2$	K	$R^2$
40	0,4354	0,7489	0,0099	0,7332	0,0002	0,7052
53	0,7384	0,9700	0,0207	0,9654	0,0006	0,9235
60	0,9060	0,9339	0,0321	0,9459	0,0013	0,9010

Del Cuadro 33 se promediaron los valores de  $R^2$  de cada orden de reacción, encontrando que el orden cero es el que mejor se ajusta a la cinética de variación de color de la mermelada de naranjilla, con respecto al parámetro G, con  $R^2_{\text{promedio}} = 0,8843$ .

CASP y ABRIL (2003) indican que la mayoría de las reacciones estudiadas en los alimentos, se han caracterizado como de orden cero o de primer orden, de las cuales, el pardeamiento no enzimático responde a una cinética de orden cero.

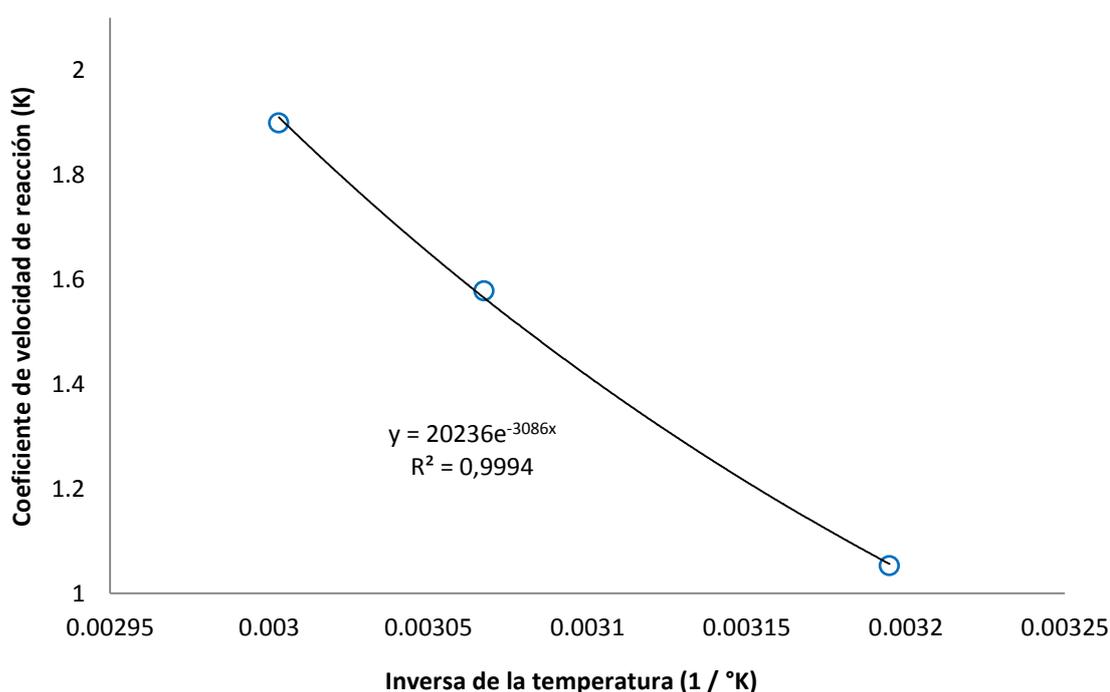
**- Determinación de la energía de activación (Ea) para la cinética de variación de color**

Los coeficientes de velocidad de reacción (K) de orden cero a diferentes temperaturas, mostrados en los Cuadros 32 y 33, se ajustaron al modelo de Arrhenius. Los resultados se presentan en los Cuadros 34 y 35 y las Figuras 27 y 28; para los parámetros R y G, respectivamente.

**Cuadro 34.** Coeficientes de velocidad de reacción (K) de la variación de color de mermelada de naranjilla, respecto al parámetro R.

Temperatura		Orden cero	
°C	°K	1 / °K	K
40	313	0,0031949	1,0531
53	326	0,0030675	1,5783
60	333	0,0030030	1,8987

El incremento del valor de K conforme se aumenta la temperatura, presentado en el Cuadro 34; coincide con lo reportado por GARCIA *et al.* (2011) en el estudio de la degradación de color de pasta de tomate, donde se obtuvo constantes de velocidad de reacción de 0,031; 0,064 y 0,097; para 40, 45 y 50 °C, respectivamente.



**Figura 27.** Relación del coeficiente de velocidad de reacción (K) de orden cero con la inversa de la temperatura, para el parámetro R.

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

$$K = 20236e^{(-3086/T)}$$

$$\frac{Ea}{R} = \frac{Ea}{1,98717 \text{ cal. mol}^{-1}\text{K}^{-1}} = 3086$$

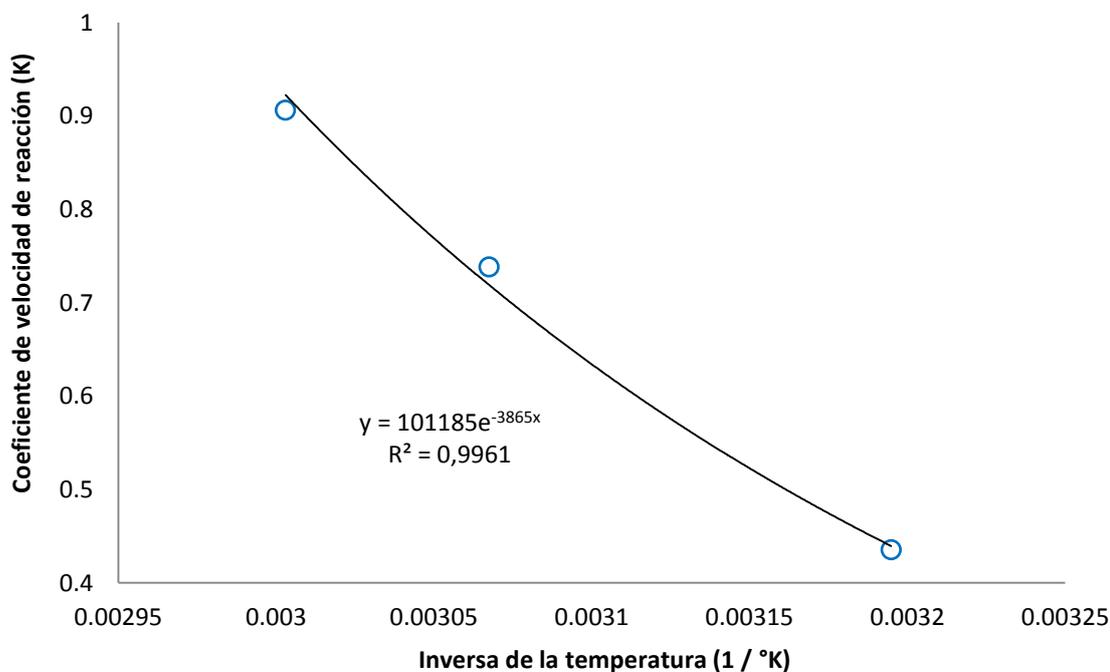
$$Ea = 6,132 \text{ kcal/mol}$$

Se obtuvo una energía de activación de 6,132 kcal/mol para la variación de color de la mermelada de naranjilla, respecto al parámetro R, que siguió una cinética de orden cero.

**Cuadro 35.** Coeficientes de velocidad de reacción (K) de la variación de color de mermelada de naranjilla, respecto al parámetro G.

Temperatura		Orden cero	
°C	°K	1 / °K	K
40	313	0,0031949	0,4354
53	326	0,0030675	0,7384
60	333	0,0030030	0,9060

CASP y ABRIL (2003) señalan que la temperatura afecta fuertemente a las constantes de velocidad de las reacciones.



**Figura 28.** Relación del coeficiente de velocidad de reacción (K) de orden cero con la inversa de la temperatura, para el parámetro G.

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

$$K = 101185e^{(-3865/T)}$$

$$\frac{Ea}{R} = \frac{Ea}{1,98717 \text{ cal. mol}^{-1}\text{K}^{-1}} = 3865$$

$$Ea = 7,680 \text{ kcal/mol}$$

Se obtuvo una energía de activación de 7,680 kcal/mol para la variación de color de la mermelada de naranjilla, respecto al parámetro G, que siguió una cinética de orden cero.

GARCIA *et al.* (2011) reportó una  $Ea = 22,8528 \text{ kcal/mol}$  ( $95680 \text{ J/mol}$ ) para la degradación de color de pasta de tomate.

El ANVA para determinar el efecto que tienen el tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el color de la mermelada de naranjilla, respecto al parámetro R, se presenta en el Anexo-VI (a); el cual muestra que ambos factores tienen un efecto altamente significativo sobre el parámetro R ( $P_{\text{valor}} < 0,01$ ), con un nivel de confianza del 99,0%.

La comparación de medias para el tiempo de almacenamiento se presenta en el Cuadro 36, en la que se aprecia que conforme transcurre el tiempo, el valor del parámetro R decrece. Siendo el día 1 estadísticamente igual al día 5 y el día 40 estadísticamente igual a los días 25, 30 y 35.

**Cuadro 36.** Comparación de medias del tiempo de almacenamiento, para el parámetro R.

Tiempo (días)	Casos	Parámetro R	Sigma LS
1	3	97,3000 <sup>a</sup>	3,65334
5	3	80,7000 <sup>ab</sup>	3,65334
10	3	75,5000 <sup>bc</sup>	3,65334
15	3	70,2667 <sup>bc</sup>	3,65334
20	3	62,1667 <sup>cd</sup>	3,65334
25	3	51,5000 <sup>de</sup>	3,65334
30	3	46,4000 <sup>de</sup>	3,65334
35	3	40,3667 <sup>e</sup>	3,65334
40	3	34,7333 <sup>e</sup>	3,65334

La comparación de medias para la temperatura de almacenamiento se presenta en el Cuadro 37.

**Cuadro 37.** Comparación de medias de la temperatura de almacenamiento, para el parámetro R.

Temperatura (°C)	Casos	Parámetro R	Sigma LS
40	9	73,2111 <sup>a</sup>	2,10926
53	9	63,0444 <sup>b</sup>	2,10926
60	9	50,0556 <sup>c</sup>	2,10926

De la comparación de medias se observa que conforme se incrementa la temperatura, el valor del parámetro R decrece. Las tres temperaturas son estadísticamente diferentes entre sí.

El ANVA para determinar el efecto que tienen el tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el color de la mermelada de naranjilla, respecto al parámetro G, se presenta en el Anexo-VI (b); el cual muestra que ambos factores tienen un efecto altamente significativo sobre el parámetro G ( $P_{\text{valor}} < 0,01$ ), con un nivel de confianza del 99,0%.

La comparación de medias del tiempo de almacenamiento se presenta en el Cuadro 38.

**Cuadro 38.** Comparación de medias del tiempo de almacenamiento, para el parámetro G.

Tiempo (días)	Casos	Parámetro G	Sigma LS
1	3	53,0000 <sup>a</sup>	2,3908
5	3	46,3000 <sup>ab</sup>	2,3908
10	3	42,2333 <sup>abc</sup>	2,3908
15	3	39,5000 <sup>bcd</sup>	2,3908
20	3	37,5667 <sup>bcd</sup>	2,3908
30	3	30,3333 <sup>cde</sup>	2,3908
25	3	29,4333 <sup>de</sup>	2,3908
35	3	27,6000 <sup>de</sup>	2,3908
40	3	24,0333 <sup>e</sup>	2,3908

De la comparación de medias se observa que conforme transcurre el tiempo, el valor del parámetro G decrece. Siendo el día 1 estadísticamente igual a los días 5 y 10 y el día 40 estadísticamente igual a los días 25, 30 y 35.

La comparación de medias de la temperatura de almacenamiento se presenta en el Cuadro 38.

**Cuadro 39.** Comparación de medias de la temperatura de almacenamiento, para el parámetro G.

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Casos</b>	<b>Parámetro G</b>	<b>Sigma LS</b>
40	9	42,6000 <sup>a</sup>	1,38033
53	9	36,7778 <sup>b</sup>	1,38033
60	9	30,6222 <sup>c</sup>	1,38033

De la comparación de medias se aprecia que a medida que se incrementa la temperatura, el valor del parámetro G decrece. Las tres temperaturas son estadísticamente diferentes entre sí.

El ANVA para determinar el efecto que tienen el tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el color de la mermelada de naranjilla, respecto al parámetro B, se presenta en el Anexo-VI (c); el cual muestra que ninguno de los factores tiene un efecto estadísticamente significativo sobre el parámetro B ( $P_{\text{valor}} > 0,05$ ), con un nivel de confianza del 95,0%.

## V. CONCLUSIONES

- Según la evaluación sensorial los parámetros adecuados para la elaboración de mermelada de naranjilla son 50:50 (pulpa:azúcar) y 0% pectina. Se encontró que la concentración de pulpa:azúcar tiene un efecto altamente significativo sobre la apreciación de la textura y apariencia general del producto.
- La mermelada de naranjilla presenta un comportamiento pseudoplástico. El mejor tratamiento tiene un índice de consistencia de 34,126 Pa.s<sup>n</sup> y un índice reológico de 0,4405.  
  
A medida que se incrementa la concentración de pulpa y pectina, también se incrementa el índice de consistencia. Existe una relación inversa entre el índice de consistencia y la apreciación sensorial de la textura de la mermelada de naranjilla.
- En el almacenamiento se encontró una relación inversa entre el índice de consistencia y el tiempo y temperatura de almacenamiento.  
  
La cinética de deterioro de la mermelada de naranjilla, medida por la pérdida de textura, responde a una reacción de primer orden, con

coeficientes de velocidad de reacción  $K_{40^{\circ}\text{C}} = 0,0052$ ;  $K_{53^{\circ}\text{C}} = 0,0067$  y  $K_{60^{\circ}\text{C}} = 0,0074$  y energía de activación  $E_a = 3,696$  kcal/mol.

De la evaluación del color, se determinó que conforme se incrementa el tiempo y temperatura de almacenamiento, los parámetros de color R y G decrecen; mientras que el parámetro de color B no tiene correlación definida.

La cinética de deterioro de la mermelada de naranjilla, medida por la variación de color, respecto a los parámetros R y G, responde a una reacción de orden cero, con coeficientes de velocidad de reacción  $K_{40^{\circ}\text{C}, R} = 1,0531$ ;  $K_{53^{\circ}\text{C}, R} = 1,5783$ ;  $K_{60^{\circ}\text{C}, R} = 1,8987$  y  $K_{40^{\circ}\text{C}, G} = 0,4354$ ;  $K_{53^{\circ}\text{C}, G} = 0,7384$ ;  $K_{60^{\circ}\text{C}, G} = 0,9060$ ; y energía de activación  $E_a = 6,132$  kcal/mol para el parámetro de color R y  $E_a = 7,680$  kcal/mol para el parámetro de color G.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Promover la producción de la naranjilla para su aprovechamiento a nivel industrial, pues en nuestro país contamos con extensas zonas geográficas adecuadas para su cultivo, y ya que esta fruta posee excelentes características sensoriales y nutritivas, se puede emplear como materia prima o insumo de diversos productos alimenticios.
- La naranjilla tiene gran cantidad de pectina en su composición, por lo cual es recomendable hacer estudios para la obtención de la misma y su posterior empleo en la industria alimentaria.
- Utilizar como indicador de calidad, la variación de la viscosidad de la mermelada de naranjilla frente a la evaluación sensorial, para determinar hasta qué punto es aceptable por el consumidor.
- Hacer estudios sobre la composición de las semillas de naranjilla y su aprovechamiento, ya que cuentan con una buena cantidad de aceite, y por fruto se pueden encontrar entre 1000 a 1200 semillas, según lo reportado por MAG Ecuador (1963).

- Realizar estudios de diseño de maquinarias para la producción a nivel industrial de mermelada de naranjilla.
- Determinar una correlación de la pérdida de textura con la variación de color, en función del tiempo; para mermeladas de fruta.
- Hacer estudios para la elaboración al vacío de mermelada de naranjilla, ya que cuenta con niveles elevados de vitamina C y de esta manera estaría disponible en el producto terminado.

## ABSTRACT

The objectives of the present research were: to determine the parameters to elaborate naranjilla jam, to perform the rheological evaluation of the treatments and to relate it with the sensory evaluation and, to evaluate its rheological and color stability during the storage by accelerated tests.

To determine the appropriate parameters for the elaboration of naranjilla jam, were evaluated pulp:sugar (50:50 and 60:40) and pectin (0%; 0,25%; 0,50%) concentrations, defining the best treatment through sensory evaluation. The naranjilla jam presented a pseudoplastic behavior (rheological index  $< 1$ ), with consistency index ( $m$ ) in the range of 34,126 to 83,160 Pa.s<sup>n</sup>. The best treatment was 50:50 (pulp:sugar) and 0% pectin. The pulp:sugar and pectin concentrations had a highly significant effect on  $m$ . There is an inverse correlation of  $m$  with the sensory appreciation of the texture attribute.

In the storage, the accelerated tests were conducted at 40, 53 and 60 °C, evaluating the rheological parameters and the R, G and B color parameters for 40 days. The deterioration kinetics by texture loss was of first order, with activation energy ( $E_a$ ) = 3,696 kcal/mol. The deterioration kinetics by color variation for the R and G parameters was of zero order. The  $E_a$  for the parameter R was 6,132 kcal/mol and for the parameter G was 7,680 kcal/mol. It was found that time and temperature had a highly significant effect on  $m$  and the color of the naranjilla jam.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO, R. 2006. Lulo: El cultivo. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colciencias. Centro de Investigación y Asesorías Agroindustriales (CIAA). 1ª edición. Bogotá, Colombia. 100 pág.
- CALPA, F. 2015. Efectividad de Rotenona y Spinetoram para el control de *Neoleucinodes elegantalis* en naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) Híbrida. Carchi-Ecuador. Universidad Escuela Politécnica Estatal del Carchi. Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales. Tulcán, Ecuador. 85 pág.
- CARMONA, A. 2007. Reología de los Alimentos. Ediciones UNAS. Tingo María, Perú. 123 pág.
- CASP, A.; ABRIL, J. 2003. Tecnología de alimentos: Procesos de conservación de alimentos. Coedición: A. Madrid Vicente, Ediciones y Ediciones Mundi-Prensa. 2ª edición. Madrid, España. 494 pág.
- CATOTA, M. 2011. Proyecto de factibilidad para la producción y comercialización de mermeladas de naranjilla a base de panela, en la provincia de Pichincha, Parroquia de Nanegal. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. 171 pág.
- CHEFTEL, J.; CHEFTEL, H. 1976. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 333 pág.

- COLQUICHAGUA, D. 2005. Procesamiento de Mermeladas de Frutas Nativas. Lima, Perú. 27 pág.
- DÍAZ, R. 2014. Caracterización fisicoquímica y reológica de la pulpa de borjón (*borojoa patinoi cuatrec.*) y productos alimentarios derivados. Universidad Internacional de Andalucía. Andalucía, España. 227 pág.
- DURÁN, F. 2009. Producción de lulo y otras frutas tropicales. Grupo Latino Editores. Bogotá, Colombia. 56 pág.
- EARLE, R. 1979. Ingeniería de los Alimentos: Las operaciones básicas aplicadas a la tecnología de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 332 pág.
- FORY, P. 2005. Caracterización y análisis molecular de la diversidad genética de la colección colombiana de Lulo (*Solanum quitoense* LAM) y seis especies relacionadas de la sección *Lasiocarpa*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira, Colombia. 89 pág.
- GALLOZZI, R.; DUARTE, O. 2007. Cultivos de diversificación para pequeños productores de frijol y maíz en América Central. Naranjilla (lulo) y Cocona. Guía práctica de manejo agronómico, cosecha, poscosecha y procesamiento de naranjilla. Proyecto Red SICTA. Managua, Nicaragua. 49 pág.
- GARCIA, C.; CHACÓN, G.; MOLINA, M. 2011. Evaluación de la vida útil de una pasta de tomate mediante pruebas aceleradas por temperatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

- GARCIA, C.; MOLINA, M. 2008. Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- GIRALDO, G. 1999. Métodos de estudio de vida de anaquel de los alimentos. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, Facultad de Ciencias y Administración. Colombia. 106 pág.
- GUAYASAMÍN, M. 2015. Evaluación *ex ante* del impacto socio-económico del manejo convencional y mejorado del cultivo de naranjilla (*Solanum quitoense*) en el Ecuador. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador. 96 pág.
- GUEVARA, A. 2015. Elaboración de pulpas, zumos, néctares, deshidratados, osmodeshidratados y fruta confitada. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias. Lima, Perú. 61 pág.
- HERMIDA, J. 2000. Fundamento de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 463 pág.
- HIDALGO, I. 2012. Elaboración de mermelada de naranjilla (*Solanum quitoense*) con adición de diferentes niveles de papa china (*Colocasia esculenta*) y pectina en el Cantón Pastaza, provincia de Pastaza. Universidad Estatal Amazónica. Puyo – Pastaza, Ecuador. 84 pág.
- IICA Nicaragua. 2007. Guía Práctica de Exportación de la Naranjilla a los Estados Unidos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - OEA. Managua, Nicaragua. 12 pág.

- JARA, J. 2011. Obtención de productos deshidratados de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam) utilizando procesos térmicos de secado con aire forzado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Bioquímica y Farmacia. Riobamba, Ecuador. 203 pág.
- LAHUATTE, M. 2013. Efecto de cinco dosis de Brassinolina natural en naranjilla híbrida (*Solanum quitoense*) sobre la calidad y tamaño del fruto en el Cantón Mejía, provincia de Pichincha año 2012. Universidad Técnica Estatal De Quevedo. Quevedo, Ecuador. 82 pág.
- MADRID, A. 2013. Ciencia y Tecnología de los Alimentos. 1<sup>ra</sup> Edición. AMV Ediciones. Madrid, España. 446 pág.
- MAG Ecuador. 1963. El cultivo de la Naranjilla en el Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección de Fomento Agrícola. Departamento de Frutales y Hortalizas. Edit. La Unión. Quito, Ecuador. 24 pág.
- MAG / IICA. 2001. Identificación de mercados y tecnología para productos agrícolas tradicionales de exportación. Convenio MAG/IICA, Subprograma de Cooperación Técnica. Préstamos BID / MAG 831/OC y 832/OC – EC. Quito, Ecuador. 28 pág.
- MANTILLA, M. 2008. Transformación Genética de la Naranjilla, *Solanum quitoense*, mediante *Agrobacterium tumefaciens*. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador. 79 pág.
- MATOS, A.; AGUILAR, D. (2010). Influencia de la temperatura y concentración sobre el comportamiento reológico de la pulpa de tuna (*Opuntia Ficus Indica*). Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería de Alimentos. Lima, Perú.

- MEYER, M. 1996. Elaboración de frutas y hortalizas. 2ª Edición. Editorial Trillas. México. 115 pág.
- MINAGRI. 2017. Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias (SIEA). IV Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO) 2012.
- MIRANDA, S. 2012. Evaluación de componentes tecnológicos para el manejo integrado de plagas en naranjilla (*Solanum quitoense* Lam. Var. Iniap Quitoense) en Río Negro, provincia de Tungurahua. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica. Ambato, Ecuador. 84 pág.
- MULLER, H. 1973. Introducción a la Reología de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 174 pág.
- NAVARRETE, J. 2014. Evaluación de reguladores orgánicos de crecimiento para el engrose del fruto de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). San Miguel de los Bancos- Pichincha. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Quito, Ecuador. 71 pág.
- RAFAEL, C. 2012. Modelos matemáticos para estimación de vida útil de alimentos. San Salvador, El Salvador. 57 pág.
- RAMÍREZ, J. 2006. Fundamentos de Reología de Alimentos. JSR e-books. Cali, Colombia. 46 pág.
- RAUCH, G. 1970. Fabricación de mermelada. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 199 pág.
- ROUDOT, A. 2004. Reología y Análisis de la Textura de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 210 pág.

- SIVINCHA, F. 2014. Cinética y simulación del deterioro del aceite crudo de palma (*Elaeis guineensis*) en la Planta Extractora Industria del Shanusi S. A. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tingo María, Perú. 77 pág.
- TOBARU, J.; DIAZ, P. 2006. La naranjilla: Exquisito e interesante sabor de nuestra selva alta. AGROENFOQUE: Revista para el desarrollo agropecuario, agroindustrial y agroexportador N°152. 96 pág.
- UREÑA, M.; D'ARRIGO, M.; GIRÓN, O. 1999. Evaluación sensorial de los alimentos: Aplicación didáctica. Edit. Agraria. 1ª edición. Lima, Perú. 204 pág.
- VIADES, J. 2012. Fisicoquímica de alimentos: Conceptos básicos de cinética química y su aplicación en alimentos. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. México D. F., México. 23 pág.
- YARANGA, M. 2011. Elaboración y evaluación reológica de mermelada de tuna (*Opuntia flicus indica*). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias. Tingo María, Perú. 97 pág.

**ANEXO**

**Anexo-I.** Formato de evaluación sensorial.

**Evaluación sensorial de mermelada de naranjilla**

**Nombre:**

**Fecha:**

**Hora:**

**Producto:** Mermelada de naranjilla

**Indicaciones:** Evalúe las muestras de mermelada de naranjilla en los atributos indicados según su apreciación de acuerdo a la escala lineal.

EVALUACIÓN SENSORIAL	477	524
TEXTURA		
SABOR		
APARIENCIA GENERAL		

<b>EVALUACIÓN SENSORIAL</b>	<b>396</b>	<b>303</b>
<b>TEXTURA</b>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>
<b>SABOR</b>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>
<b>APARIENCIA GENERAL</b>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>

<b>EVALUACIÓN SENSORIAL</b>	<b>421</b>	<b>871</b>
<b>TEXTURA</b>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>
<b>SABOR</b>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>
<b>APARIENCIA GENERAL</b>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>	<p>Me desagrada mucho      No me agrada ni me desagrada      Me agrada mucho</p>

**Anexo–II.** Resultados de la evaluación sensorial de los diferentes tratamientos de mermelada de naranjilla.

Tratamiento Panelista	477 (50% pulpa : 50% azúcar, 0% pectina)			524 (50% pulpa : 50% azúcar, 0,25% pectina)			396 (50% pulpa : 50% azúcar, 0,5% pectina)		
	Textura	Sabor	Apariencia general	Textura	Sabor	Apariencia general	Textura	Sabor	Apariencia general
1	6,25	6,95	7,95	5,35	6,35	6,70	5,70	6,20	8,20
2	9,20	5,20	6,10	8,70	5,15	5,70	9,00	7,40	6,60
3	8,85	5,40	8,50	8,00	9,00	7,90	9,45	9,25	9,35
4	7,30	5,85	9,00	4,30	6,10	4,65	5,35	6,05	5,40
5	6,40	6,90	6,35	6,85	2,95	3,90	6,95	4,50	4,00
6	8,45	6,90	7,40	8,60	5,20	6,35	8,35	6,35	7,25
7	5,70	5,00	5,00	5,50	4,30	5,50	7,10	8,40	8,90
8	8,90	9,25	9,10	8,90	9,40	9,25	6,35	5,70	6,15
9	5,35	5,35	7,45	4,10	1,60	5,35	5,20	5,20	5,70
10	8,25	8,55	8,35	6,90	4,45	7,20	5,50	4,90	7,10
11	7,85	4,15	9,60	8,90	8,60	8,80	7,50	9,10	8,05
12	8,20	6,50	7,40	9,35	8,30	7,95	6,80	9,10	7,05
13	7,75	5,30	6,00	8,80	4,65	7,70	5,30	5,55	5,15
14	9,70	8,50	9,00	5,90	8,95	7,25	8,90	6,25	9,40
15	7,60	7,70	5,00	1,70	0,70	5,25	7,45	6,40	6,35
16	5,85	5,85	6,20	2,60	6,40	3,40	4,60	3,90	3,70
17	5,90	4,45	2,90	4,50	6,00	7,65	3,55	5,25	5,75
18	6,00	7,05	7,40	6,30	8,10	8,10	6,90	7,90	8,55
<b>Total</b>	<b>133,50</b>	<b>114,85</b>	<b>128,70</b>	<b>115,25</b>	<b>106,20</b>	<b>118,60</b>	<b>119,95</b>	<b>117,40</b>	<b>122,65</b>
<b>Promedio</b>	<b>7,42</b>	<b>6,38</b>	<b>7,15</b>	<b>6,40</b>	<b>5,90</b>	<b>6,59</b>	<b>6,66</b>	<b>6,52</b>	<b>6,81</b>

Tratamiento Panelista	303 (60% pulpa : 40% azúcar, 0% pectina)			421 (60% pulpa : 40% azúcar, 0,25% pectina)			871 (60% pulpa : 40% azúcar, 0,5% pectina)		
	Textura	Sabor	Apariencia general	Textura	Sabor	Apariencia general	Textura	Sabor	Apariencia general
1	5,15	8,10	6,00	5,60	6,25	5,30	4,35	9,10	4,45
2	4,25	4,75	4,20	3,95	4,00	3,30	1,80	1,90	2,25
3	6,00	6,95	6,80	6,70	6,05	7,70	7,50	7,40	8,60
4	2,60	2,45	1,80	1,70	0,80	4,00	0,70	5,35	0,55
5	2,70	7,35	6,30	0,25	5,35	4,35	2,20	6,10	3,70
6	4,35	5,55	5,15	5,45	8,10	7,60	5,30	4,15	5,00
7	8,70	8,55	7,75	8,20	7,75	6,50	8,80	7,10	6,30
8	6,45	6,50	5,40	5,45	5,40	5,95	5,00	4,80	4,60
9	5,30	4,45	4,60	3,55	4,55	4,60	1,75	3,40	4,30
10	5,40	5,10	5,30	5,20	5,25	5,50	5,75	5,05	5,50
11	2,75	5,80	6,05	2,60	0,90	1,95	2,80	2,85	1,00
12	9,50	9,45	9,10	9,35	9,45	9,10	9,30	5,50	8,90
13	5,60	6,00	6,20	6,30	5,95	6,70	7,20	3,60	7,00
14	3,90	4,70	3,65	3,00	4,75	1,70	0,00	3,45	0,00
15	2,40	10,00	6,05	0,70	10,00	2,75	0,15	1,20	2,70
16	5,70	6,10	6,70	6,50	6,50	6,45	9,30	9,15	9,25
17	1,80	1,30	1,15	1,10	0,75	1,10	3,80	5,80	1,40
18	4,80	5,25	5,20	5,90	7,00	5,30	5,65	7,05	6,35
<b>Total</b>	<b>87,35</b>	<b>108,35</b>	<b>97,40</b>	<b>81,50</b>	<b>98,80</b>	<b>89,85</b>	<b>81,35</b>	<b>92,95</b>	<b>81,85</b>
<b>Promedio</b>	<b>4,85</b>	<b>6,02</b>	<b>5,41</b>	<b>4,53</b>	<b>5,49</b>	<b>4,99</b>	<b>4,52</b>	<b>5,16</b>	<b>4,55</b>

**Anexo-III.** Resultados del análisis estadístico de la evaluación sensorial.**(a)** ANVA del atributo textura, para los diferentes tratamientos.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	141,2990	5	28,2597	5,5700	0,0001
Intra grupos	517,2760	102	5,0713		
Total (Corr.)	658,5740	107			

**(b)** ANVA del atributo sabor, para los diferentes tratamientos.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	24,1613	5	4,8323	1,0200	0,4123
Intra grupos	485,1490	102	4,7564		
Total (Corr.)	509,3110	107			

**(c)** ANVA del atributo apariencia general, para los diferentes tratamientos.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Entre grupos	103,7630	5	20,7525	4,8700	0,0005
Intra grupos	435,0780	102	4,2655		
Total (Corr.)	538,8410	107			

(d) ANVA del efecto de la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre la textura de la mermelada de naranjilla.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos principales					
A: %pulpa : azúcar	130,0210	1	130,0210	26,0300	0,0000
B: %pectina	9,1085	2	4,5542	0,9100	0,4050
Residuos	519,4450	104	4,9947		
Total (corregido)	658,5740	107			

(e) ANVA del efecto de la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre el sabor de la mermelada de naranjilla.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos principales					
A: %pulpa : azúcar	13,6178	1	13,6178	2,8900	0,0924
B: %pectina	4,8610	2	2,4305	0,5100	0,5990
Residuos	490,8320	104	4,7195		
Total (corregido)	509,3110	107			

(f) ANVA del efecto de la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre la apariencia general de la mermelada de naranjilla.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos principales					
A: %pulpa : azúcar	94,1734	1	94,1734	22,4000	0,0000
B: %pectina	7,3489	2	3,6745	0,8700	0,4204
Residuos	437,3190	104	4,2050		
Total (corregido)	538,8410	107			

**Anexo-IV.** ANVA del efecto de la concentración de pulpa:azúcar y concentración de pectina sobre el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos principales					
A:% pulpa:azúcar	3057,8700	1	3057,8700	100,0600	0,0000
B:% pectina	942,1850	2	471,0930	15,4100	0,0018
Residuos	244,4900	8	30,5613		
Total (corregido)	4244,5500	11			

**Anexo-V.** ANVA del efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el índice de consistencia de la mermelada de naranjilla.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos principales					
A:Tiempo	131,6280	6	21,9379	53,5900	0,0000
B:Temperatura	10,5445	2	5,2722	12,8800	0,0023
Residuos	3,6844	9	0,4094		
Total (corregido)	140,7840	17			

**Anexo-VI.** Resultados del análisis estadístico de la evaluación del color.

**(a)** ANVA del efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el color de la mermelada de naranjilla, respecto al parámetro R.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos principales					
A:Tiempo	10234,1000	8	1279,2700	31,9500	0,0000
B:Temperatura	2424,7600	2	1212,3800	30,2800	0,0000
Residuos	640,6500	16	40,0406		
Total (corregido)	13299,5000	26			

**(b)** ANVA del efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el color de la mermelada de naranjilla, respecto al parámetro G.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos principales					
A:Tiempo	2200,9300	8	275,1160	16,0400	0,0000
B:Temperatura	645,7690	2	322,8840	18,8300	0,0001
Residuos	274,3640	16	17,1478		
Total (corregido)	3121,0600	26			

**(c)** ANVA del efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el color de la mermelada de naranjilla, respecto al parámetro B.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
Efectos principales					
A:Tiempo	315,7130	8	39,4642	1,8700	0,1355
B:Temperatura	16,9267	2	8,4633	0,4000	0,6756
Residuos	336,8670	16	21,0542		