



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DEL MESOCARPIO DE LIMÓN PONDEROSA (*Citrus limon x citrus medica* L. Burn. F.) POR HIDRÓLISIS ÁCIDA A NIVEL LABORATORIO PARA SU EVALUACIÓN EN LA APLICACIÓN DE MERMELADAS DE FRUTAS CON BAJO CONTENIDO DE PECTINA

Wanda Judith Yoc Gatica

Asesorado por la Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, octubre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DEL MESOCARPIO DE LIMÓN PONDEROSA (*Citrus limon x citrus medica* L. Burn. F.) POR HIDRÓLISIS ÁCIDA A NIVEL LABORATORIO PARA SU EVALUACIÓN EN LA APLICACIÓN DE MERMELADAS DE FRUTAS CON BAJO CONTENIDO DE PECTINA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WANDA JUDITH YOC GATICA

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

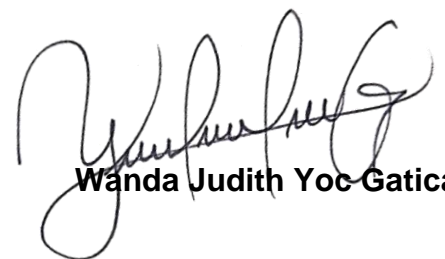
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADORA	Inga. Dinna Lissette Estrada Moreira
EXAMINADORA	Inga. Mercedes Esther Roquel Chávez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DEL MESOCARPIO DE LIMÓN PONDEROSA (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) POR HIDRÓLISIS ÁCIDA A NIVEL LABORATORIO PARA SU EVALUACIÓN EN LA APLICACIÓN DE MERMELADAS DE FRUTAS CON BAJO CONTENIDO DE PECTINA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 20 de julio de 2018.



Wanda Judith Yoc-Gatica

Guatemala 04 de febrero de 2020

Ingeniero
Williams Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DEL MESOCARPIO DE LIMÓN PONDEROSA (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) POR HIDRÓLISIS ÁCIDA A NIVEL LABORATORIO PARA SU EVALUACIÓN EN LA APLICACIÓN DE MERMELADAS DE FRUTAS CON BAJO CONTENIDO DE PECTINA", elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Wanda Judith Yoc Gatica, quien se identifica con el registro académico 2014-03810 y con el CUI 2862 97191 01 01.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Hilda Piedad Palma de Martini
ASESORA
Ingeniera Química
Colegiado activo no. 0453

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 06 de junio de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.018.2020.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **019-2018**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Wanda Judith Yoc Gatica**.
Identificado con número de carné: **2862971910101**.
Identificado con registro académico: **201403810**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DEL MESOCARPIO DE LIMÓN PONDEROSA
(Citrus limon x citrus medica L. Burm. F.) POR HIDRÓLISIS ÁCIDA A NIVEL
LABORATORIO PARA SU EVALUACIÓN EN LA APLICACIÓN DE MERMELADAS DE
FRUTAS CON BAJO CONTENIDO DE PECTINA**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Hilda Piedad Palma Ramos de Martini, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Adela María Marroquín González
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo

Adela María Marroquín González
Ingeniera Química Col. No. 1446



Guatemala, 21 de octubre de 2020 .

Ref. EIQ 274.

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DEL MESOCARPIO DE LIMÓN PONDEROSA (*Citrus limon x citrus medica L. Burn. F.*) POR HIDRÓLISIS ÁCIDA A NIVEL LABORATORIO PARA SU EVALUACIÓN EN LA APLICACIÓN DE MERMELADAS DE FRUTAS CON BAJO CONTENIDO DE PECTINA del(la) estudiante Wanda Judith Yoc Gatica, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica); por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Williams E. Alvarez Mejía; M.I.Q.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/mpea



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA

DTG. 323.2020.

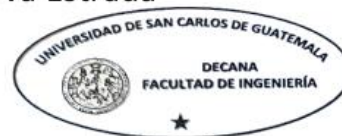
La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DEL MESOCARPIO DE LIMÓN PONDEROSA (Citrus limon x citrus medica L. Burn. F.) POR HIDRÓLISIS ÁCIDA A NIVEL LABORATORIO PARA SU EVALUACIÓN EN LA APLICACIÓN DE MERMELADAS DE FRUTAS CON BAJO CONTENIDO DE PECTINA**, presentado por la estudiante universitaria: **Wanda Judith Yoc Gatica**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios		Por darme la vida y estar a mi lado durante todo mi proceso de formación.
Mis padres		Sandra Gatica y Luis Yoc, por su amor incondicional, todo el esfuerzo realizado para darme un mejor futuro y creer en mí durante todo este proceso.
Mi hermana		Sasha Yoc, por creer en mí y su apoyo incondicional durante toda mi vida.
Mi abuela		Rosa Oliva de Gatica, por su amor y apoyo incondicional. A pesar de perderla en el camino, sé que siempre está conmigo.
Mis amigos		Jeniffer Osoy, Andrea Obando, Katherine Sazo, William Montenegro, Astrid Girón, Laura Méndez, Laura Herrera, Diego Álvarez, José Valenzuela, Helen Escobar entre muchos otros por su cariño y amistad.
Departamento de Química General	de	Evelyn Toxcón, Nadia Morán, Inga. Tannia De León y Fernando Villagrán, por la amistad, cariño y apoyo brindado durante el tiempo que hemos compartido.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por la oportunidad que me brindó para continuar con mi formación académica y el conocimiento adquirido dentro de sus aulas.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme la oportunidad y conocimientos necesarios para mi formación como ingeniera.
Mi madre	Sandra Gatica, por enseñarme a luchar contra las adversidades, a no tener miedo y el esfuerzo realizado para romper el ciclo.
Mi padre	Luis Yoc, por su cariño, ayuda y esfuerzo realizado para brindarme educación.
Mi hermana	Sasha Yoc, por su apoyo incondicional y motivación para terminar mi educación superior.
Mi asesora	Inga. Hilda Palma, por compartirme sus conocimientos y por apoyarme en la realización del presente informe.
Mis amigas	Andrea Obando y Jeniffer Osoy, por su cariño y amistad desde el inicio de este proceso, por confiar y creer en mí.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Los cítricos	7
2.1.1. El desarrollo de un fruto cítrico	7
2.1.1.1. El fruto	8
2.1.2. Fases del crecimiento.....	9
2.1. Limón ponderosa (<i>Citrus limon x citrus medica</i> L. Burm. F.) ...	11
2.1.1. Descripción.....	12
2.1.2. Valor nutricional.....	13
2.2. Potenciales usos del residuo cítrico	14
2.3. La pectina y sus orígenes.....	15
2.3.1. Tipos de pectina	17
2.3.1.1. Pectina de alto índice de metoxilo	17
2.3.1.2. Pectinas de bajo índice de metoxilo	19
2.3.1.3. Pectinas amídicas con bajo índice de metoxilo	21

2.3.2.	Propiedades fisicoquímicas de la pectina.....	22
2.3.2.1.	Solubilidad.....	22
2.3.2.2.	Acidez.....	22
2.3.2.3.	Viscosidad.....	23
2.3.2.4.	Peso molecular.....	24
2.3.2.5.	Gelificación.....	24
2.3.2.6.	Acción de las bases	25
2.3.2.7.	Acción de los ácidos.....	26
2.3.3.	Obtención de la pectina.....	26
2.3.4.	La pectina en la industria alimenticia.....	27
2.3.4.1.	Frutas con bajo contenido de pectina...28	
2.3.4.2.	Acción de la pectina en mermeladas....28	
2.3.4.3.	Aspectos legislativos	29
2.3.5.	Análisis sensorial.....	29
2.4.	Ácido cítrico.....	32
2.4.1.	Equilibrio del ácido cítrico.....	32
2.4.2.	Bioquímica de la producción del ácido cítrico.....	34
2.4.3.	Producción industrial	34
2.4.4.	Aplicaciones	35
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
3.1.	Variables	37
3.1.1.	Variables independientes	37
3.1.2.	Variables dependientes	37
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	38
3.3.	Recursos humanos disponibles	39
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	39
3.4.1.	Equipo	39
3.4.1.1.	Equipo de medición	39

	3.4.1.2.	Instrumentos de laboratorio	40
	3.4.1.3.	Equipo auxiliar	40
	3.4.2.	Cristalería	41
	3.4.3.	Reactivos	41
	3.4.3.1.	Tipo industrial	41
	3.4.3.2.	Tipo comercial	41
	3.4.4.	Materia prima para la obtención de pectina	42
	3.4.5.	Materia prima para la elaboración de mermelada de piña	42
3.5.		Técnica cuantitativa	42
	3.5.1.	Obtención de pectina	42
	3.5.1.1.	Preparación de materia prima.....	43
	3.5.1.2.	Procedimiento de inactivación de enzimas pécticas	43
	3.5.1.3.	Hidrólisis ácida.....	44
	3.5.1.4.	Preparación de la pectina	45
	3.5.1.5.	Secado de pectina	45
	3.5.1.6.	Molienda y almacenamiento	45
	3.5.2.	Pruebas fisicoquímicas	45
	3.5.2.1.	Contenido de humedad	46
	3.5.2.2.	Contenido de metoxilo	46
	3.5.2.3.	Acidez libre	47
	3.5.3.	Elaboración de mermelada de piña	47
	3.5.4.	Propiedades fisicoquímicas de la mermelada de piña.....	48
	3.5.5.	Análisis sensorial	49
3.6.		Análisis estadístico	49
	3.6.1.	Media aritmética	49
	3.6.2.	Análisis de varianza de dos factores	50

3.6.2.1.	Porcentaje de rendimiento.....	50
3.6.3.	Análisis de varianza de un factor.....	51
3.6.3.1.	Propiedades organolépticas.....	52
4.	RESULTADOS.....	53
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	59
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES	67
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	APÉNDICES.....	75
	ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sección transversal de un fruto cítrico	9
2.	Fases del desarrollo de un fruto cítrico	11
3.	Fruto maduro de limón ponderosa	13
4.	Región de la cadena lineal de la estructura de la pectina	16
5.	Estructura molecular de la pectina de alto índice de metoxilo.....	19
6.	Estructura molecular de la pectina de bajo índice de metoxilo.....	20
7.	Estructura molecular de pectina amidica de bajo índice de metoxilo	21
8.	Ejemplos de escala de pruebas	31
9.	Estructura química del ácido cítrico	32
10.	Curva de titulación de un ácido poliprótico.....	33
11.	Inactivación de enzimas pécticas.....	43
12.	Equipo de lixiviación dinámica	44

TABLAS

I.	Tipos de pectinas HM y características.....	19
II.	Nivel de pectina en las frutas	28
III.	Clasificación de pruebas sensoriales	30
IV.	Constantes de disociación del ácido cítrico.....	34
V.	Variables independientes	37
VI.	Variables dependientes.....	38
VII.	Análisis de varianza de dos factores variando el pH y la temperatura a 40 minutos	50

VIII.	Análisis de varianza de dos factores variando el pH y la temperatura a 60 minutos	51
IX.	Análisis de varianza de un factor para las propiedades organolépticas.....	52
X.	Rendimiento porcentual de la pectina obtenida en un período de 40 minutos de hidrólisis ácida	53
XI.	Rendimiento porcentual de la pectina obtenida en un período de 60 minutos de hidrólisis ácida	53
XII.	Porcentaje de humedad de la pectina obtenida en un período de 40 minutos de hidrólisis ácida	54
XIII.	Porcentaje de humedad de la pectina obtenida en un período de 60 minutos de hidrólisis ácida	54
XIV.	Porcentaje de ácido galacturónico de la pectina obtenida en un período de 40 minutos de hidrólisis ácida	55
XV.	Porcentaje de ácido galacturónico de la pectina obtenida en un período de 60 minutos de hidrólisis ácida	55
XVI.	Porcentaje de metoxilo de la pectina del limón ponderosa obtenida en un período de 40 minutos de hidrólisis ácida	56
XVII.	Porcentaje de metoxilo de la pectina del limón ponderosa obtenida en un período de 60 minutos de hidrólisis ácida	56
XVIII.	Propiedades fisicoquímicas de las mermeladas de piña con pectina de limón ponderosa y pectina comercial	57
XIX.	Análisis sensorial afectivo de mermelada de piña elaborada con pectina comercial y de limón ponderosa	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
S	Desviación estándar
°Brix	Grados Brix
$\overline{°Brix}$	Grados Brix medio
H₁	Hipótesis alternativa
H₀	Hipótesis nula
m_{H2O}	Masa de agua
m_f	Masa final
m_i	Masa inicial
\bar{X}	Media
AA	Mermelada de piña con pectina comercial
BB	Mermelada de piña con pectina del limón ponderosa
CC	Mermelada de piña con pectina del limón ponderosa
No.	Número de repetición
%AG	Porcentaje de ácido galacturónico
$\overline{\%AG}$	Porcentaje de ácido galacturónico medio
%H	Porcentaje de humedad
$\overline{\%H}$	Porcentaje de humedad media
%-OCH₃	Porcentaje de metoxilo
$\overline{\% - OCH_3}$	Porcentaje de metoxilo medio
pH	Potencial de hidrógeno
\overline{pH}	Potencial de hidrógeno medio
%R	Rendimiento porcentual
$\overline{\%R}$	Rendimiento porcentual medio

T	Temperatura
T	Tiempo
μ	Viscosidad dinámica
$\bar{\mu}$	Viscosidad dinámica media
V_{H2O}	Volumen de hidróxido de sodio
V_f	Volumen final
V_i	Volumen inicial

GLOSARIO

Ácido galacturónico	Compuesto orgánico monosacárido formado por seis átomos de carbono a partir de la oxidación de la D-galactosa. Principal componente de las pectinas.
Acidulado	Solución con alta actividad catiónica debido a iones de hidrógeno y pH menor a 7.
Anhídrido	Compuesto formado por oxígeno y un elemento no metal o metales de transición con estado de oxidación mayor o igual a 4. Al reaccionar con el agua, da un oxácido.
Antesis	Período de expansión de una flor hasta completar su desarrollo. Proceso que ocurre en plantas o árboles frutales.
Carboxilo	Grupo funcional de los ácidos orgánicos, formados por un átomo de carbono unido a uno de oxígeno y a un grupo hidroxilo.
Coloide	Sustancia conformada por un soluto presente en un medio dispersante, cuyas partículas tienen un tamaño comprendido entre 1 nm a 10 μm .

Degradación	Pérdida de las propiedades físicas y químicas que afectan la calidad de un alimento.
Escisión	División o rompimiento de un enlace, formando dos o más iones semejantes.
Esterificar	Formar un éster mediante la unión de un ácido carboxílico y un alcohol o un fenol.
Gel	Estado que adopta una materia en dispersión coloidal cuando se coagula.
Goma	Sustancia resinosa con alta viscosidad, obtenida al realizar incisiones en la corteza de diversos vegetales. Después de procesos industriales es soluble en agua.
Índice de metoxilo	Porcentaje de grupos carboxilos esterificados en la molécula de pectina. Establece la rapidez y capacidad de formación de geles.
Laminilla media	Capa delgada de los vegetales que permite la unión de las paredes celulares de las células adyacentes. Está formada principalmente por pectina de calcio y magnesio.
Lóculo	Pequeñas cavidades de los frutos, que contienen y separan las semillas a partir de pequeños pliegues.

Mesocarpio

Capa media entre el endocarpio y exocarpio de los cítricos, con aspecto esponjoso y blanco. Parte con mayor contenido de pectina.

Polimerización

Reacción química entre monómeros o moléculas de bajo peso, que se enlazan entre sí para formar una molécula de gran peso conocida como polímero o macromolécula.

RESUMEN

En la presente investigación se llevó a cabo la obtención de pectina a partir del mesocarpio de limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) por medio de hidrólisis ácida, utilizando como agente extractor ácido cítrico. Se evaluó el rendimiento del proceso, sus propiedades fisicoquímicas y aceptabilidad por los consumidores, ya que se utilizó en mermelada de piña.

La hidrólisis ácida se realizó a diferente pH en un rango de 2,5 a 4, y se realizó cinco repeticiones de cada tratamiento; se varió la temperatura y el tiempo de reacción. De cada muestra de pectina que se obtuvo se determinó el rendimiento porcentual, el porcentaje de humedad, ácido galacturónico y grado de metoxilo en función de las condiciones de extracción mediante análisis volumétrico.

A partir de ello se verificó la influencia del pH y temperatura en el rendimiento, mediante análisis de varianza multifactorial. Se determinó la influencia significativa de la temperatura a 40 minutos de hidrólisis ácida, lo contrario a 60 minutos. Tanto por pH como por variación de temperatura.

La pectina obtenida fue de baja calidad, debido al porcentaje de ácido galacturónico en cada muestra. Debido a posibles impurezas, degradación y características del agente acidulante utilizado durante el proceso. El porcentaje de metoxilo se encuentra entre el rango de 1,64 y 2,68. Se categorizó como pectina de bajo índice de metoxilo de tipo convencional y de gelificación lenta.

La evaluación de las propiedades fisicoquímicas de la mermelada de piña elaborada con pectina comercial y de limón ponderosa, no difirieron significativamente a excepción de su viscosidad dinámica, al haber utilizado la pectina extraída en un 17,3 %. El análisis sensorial de afectividad de escala hédonica de dos puntos orientada a consumidores presentó un porcentaje de aceptabilidad del 76,9 % al ser comparada con mermelada de pectina comercial.

El experimento se realizó a una temperatura ambiente de 26 °C.

OBJETIVOS

General

Obtener la pectina a partir del mesocarpio de limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) por hidrólisis ácida utilizando como agente extractor ácido cítrico, variando la concentración y la temperatura a nivel laboratorio para evaluar su aceptabilidad al aplicar en mermeladas de frutas con bajo contenido de pectina.

Específicos

1. Evaluar el rendimiento de la extracción de pectina del mesocarpio de limón ponderosa en función de la concentración de las soluciones utilizadas durante el método hidrólisis ácida a 40 y 60 min.
2. Evaluar el rendimiento de la extracción de pectina del mesocarpio de limón ponderosa en función de las temperaturas utilizadas durante el método hidrólisis ácida a 40 y 60 min.
3. Determinar las características fisicoquímicas como el contenido de humedad, el porcentaje de ácido galacturónico y contenido de metoxilo de la pectina obtenida del mesocarpio de limón ponderosa.
4. Determinar las propiedades fisicoquímicas de las mermeladas de fruta elaboradas con pectina extraída de limón ponderosa y pectina comercial.

5. Determinar, mediante análisis sensorial, la aceptabilidad de mermelada de fruta elaborada con la pectina obtenida de limón ponderosa en comparación con una pectina comercial.

HIPÓTESIS

Es posible obtener pectina a partir del mesocarpio de limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) utilizando como agente extractor ácido cítrico, variando su concentración y la temperatura de la reacción a nivel laboratorio.

- Hipótesis alternativa

H_{1, 1}: el rendimiento de la pectina obtenida del mesocarpio de limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.), respecto a las variaciones de pH a nivel laboratorio difiere significativamente.

$$\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

μ_1 : Solución de ácido cítrico a pH 2,5.

μ_2 : Solución de ácido cítrico a pH 3.

μ_3 : Solución de ácido cítrico a pH 4.

H_{1, 2}: el rendimiento de la pectina obtenida del mesocarpio de limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.), respecto a las variaciones de temperatura a nivel laboratorio difiere significativamente.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : Hidrólisis ácida a 60 °C.

μ_2 : Hidrólisis ácida a 90 °C.

H_{1, 3}: las propiedades fisicoquímicas de la mermelada de fruta no difieren significativamente al emplear la pectina obtenida del mesocarpio del limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) y una pectina comercial.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : Mermelada con pectina comercial.

μ_2 : Mermelada con pectina del mesocarpio del limón ponderosa a 0,5 %.

H_{1, 4}: las propiedades organolépticas de la mermelada de fruta no difieren significativamente al emplear la pectina obtenida del mesocarpio del limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) y una pectina comercial.

$$\mu_1 \neq \mu_2$$

μ_1 : Mermelada con pectina comercial.

μ_2 : Mermelada con pectina del mesocarpio del limón ponderosa a 0,5 %.

- Hipótesis nula

H_{0, 1}: el rendimiento de la pectina obtenida del mesocarpio de limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.), respecto a las variaciones de pH a nivel laboratorio no difiere significativamente.

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

μ_1 : Solución de ácido cítrico a pH 2,5.

μ_2 : Solución de ácido cítrico a pH 3.

μ_3 : Solución de ácido cítrico a pH 4.

H_{0, 2}: el rendimiento de la pectina obtenida del mesocarpio de limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.), respecto a las variaciones de temperatura a nivel laboratorio no difiere significativamente.

$$\mu_1 = \mu_2$$

μ_1 : Hidrólisis ácida a 60 °C.

μ_2 : Hidrólisis ácida a 90 °C.

H_{0, 3}: las propiedades fisicoquímicas de la mermelada de fruta no difieren significativamente al emplear la pectina obtenida del mesocarpio del limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) y una pectina comercial.

$$\mu_1 = \mu_2$$

μ_1 : Mermelada con pectina comercial.

μ_2 : Mermelada con pectina del mesocarpio del limón ponderosa a 0,5 %.

H_{0, 4}: las propiedades organolépticas de la mermelada de fruta no difieren significativamente al emplear la pectina obtenida del mesocarpio del limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) y una pectina comercial.

$$\mu_1 = \mu_2$$

μ_1 : Mermelada con pectina comercial.

μ_2 : Mermelada con pectina del mesocarpio del limón ponderosa a 0,5 %.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala, diariamente existe un gran consumo de pectina en la industria de alimentos, debido a su versatilidad al aplicarse en diversos productos como las mermeladas, jaleas y confituras, a las que proporcionar propiedades espesantes, emulgentes, estabilizantes y gelificantes.

“La aplicabilidad de la pectina ha llevado al país a aumentar constantemente la importación de la misma, alcanzando cerca de 53,11 toneladas con un promedio mínimo cerca de 530 000 dólares, generando un interés en su producción y el estudio de materias primas que presenten elevado contenido que permita realizar una obtención con altos rendimientos, identificando a los cítricos como la materia prima con mayor porcentaje siendo este aproximadamente del 20 % según el grado de maduración del fruto.”¹

Se investigó el uso de diversos cítricos para la obtención de pectina a partir de su cáscara. Se utilizaron diversos métodos; el más efectivo fue la hidrólisis ácida. Por lo tanto, en el presente trabajo de investigación se utilizó como materia prima el mesocarpio de limón ponderosa debido a su gran tamaño y poco aprovechamiento a nivel nacional. “A pesar de tener una producción aproximadamente de 30 kg por árbol maduro significando cerca del 6 % de la producción de cítricos a nivel nacional durante todo el año con un 73,2 % de cáscara desechada.”²

¹ MENDOZA, Héctor. *Extracción de pectinas a partir de mucílago contenido en las aguas mieles del beneficiado de café por maceración dinámica y estática*. p. 17.

² AGUSTÍN, Manuel., et al. Cuajado y Desarrollo de los frutos cítricos. *Citricultura*. p. 130.

En el presente estudio interesa evaluar su aceptabilidad al aplicarla en mermeladas de fruta con bajo contenido de pectina como la piña, la fresa y frambuesa; así mismo, establecer las condiciones óptimas para la obtención de un producto de alta calidad y rendimiento.

1. ANTECEDENTES

Actualmente, en Guatemala el desaprovechamiento de la parte no comestible de algunas frutas o verduras es considerada una actividad común. Para minimizar dicha situación se han realizado estudios sobre distintos frutos que cumplan con las características para proveer uno de los aditivos más utilizados de la industria alimenticia, como la pectina, promoviendo así el estudio de la obtención de esta.

En 2017, Genisberto E. Barreto, Amparo L. Púa, Dilan D. De Alba y María M. Pión realizaron la investigación titulada *Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar (Mangifera indica L.)*. En el estudio se extrajo pectina a partir de la cáscara de mango maduro, con ácido clorhídrico como agente extractor y alcohol etílico al 96 % para su precipitación. Se determinaron como condiciones óptimas una temperatura de 100 °C y un pH igual a 1. Se determinó fuente óptima para la extracción de pectina de alta calidad, según el análisis de espectrofotometría infrarrojo al comparar frente a una pectina estándar.

En 2016, Héctor Armando Mendoza Yalibat realizó el estudio en la Universidad de San Carlos de Guatemala titulado *Extracción de pectinas a partir de mucílago contenido en las aguas mieles del beneficiado de café por maceración dinámica y estática*, en el cual expuso como agente extractor óptimo el ácido sulfúrico, para la obtención de pectina cruda a un pH de 3,5. Se determinó un rendimiento del 20,987 % \pm 1,301 al utilizar un ácido fuerte, y se favoreció la polimerización de la molécula de pectina.

En 2015, Vanesa Zegada Franco realizó un artículo de investigación en base al estudio titulado *Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)*. Durante la investigación se determinaron los parámetros óptimos para la extracción de pectina por hidrólisis ácida e hidrólisis ácida asistida por microondas. Para ambos métodos los parámetros fueron un pH de 2,17 y 18:1 para la proporción de solvente, con un tiempo óptimo de extracción utilizando HMO a 7 minutos, lo cual generó un ahorro de energía y tiempo en el proceso de producción de pectina.

En 2015, Nicolás Mauricio Bogdanoff realizó el estudio de tesis doctoral en la Universidad Nacional de La Plata en la Provincia de Buenos Aires, Argentina, sobre el tema *Optimización de los procesos de obtención y concentración de pectina de naranja*. En la investigación se evaluaron las etapas que interviene en la extracción de la pectina, desde el acondicionamiento de la cáscara hasta la concentración de pectina extraída. El estudio reveló como tiempo óptimo 5 minutos para la inactivación enzimática de la cáscara, con vapor fluente a fin de inactivar un 55 % de pectinaesterasa y lograr un efecto texturizante que facilite la solubilización de las pectinas.

En 2012, Verónica Vanessa Durán Malagón y María Gabriela Honores González realizaron un trabajo de investigación titulado *Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora Edulis)* para la Escuela Superior Politécnica del Litoral en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción en Guayaquil, Ecuador. Al finalizar la investigación se determinó que la pectina obtenida se puede ver afectada al utilizar temperaturas mayores a 98 °C y tiempos mayores a 90 minutos durante la hidrólisis ácida, lo cual desnaturaliza la pectina y daña sus características de gelificación dadas por los valores de grado de esterificación.

En 2012, Esteban Cabarcas Henao, Adrián Fernando Guerra Benedetti y César Augusto Henao Balseiro realizaron el Trabajo de Grado a nivel de Licenciatura en la Universidad de Cartagena, Colombia, titulado *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*. Se determinaron las condiciones óptimas de extracción de pectina para un equilibrio entre rendimiento y calidad, y se estableció un pH de 1,5 a 60 °C. Presentaron características competitivas para ser destinada a la industria de alimentos con un alto rendimiento y un porcentaje de 18,86 de índice de bajo metoxilo.

En 2011, A. Arellanes y otros autores realizaron un estudio para el Departamento de Ingeniería Bioquímica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia en Venezuela, titulado *Obtención y caracterización de pectina de la cascara del cambur manzano (Musa AAB)*. Se determinó como mejor agente extractor el ácido cítrico debido a un rendimiento del 16,14 % a pH igual a 2. La pectina con mejor calidad fue obtenida a pH igual a 3, al utilizar como agente extractor ácido clorhídrico.

En 2010, Monserrat Cuesta y Ricardo Muñoz publicaron en La Revista Politécnica Vol. 31(1): 91-96, el estudio titulado *Extracción de pectina a partir de la corteza de maracuyá (Passiflora edulis var. Flavicarpa degener)*. Consistió en evaluar el rendimiento de pectina obtenida a diferentes valores de pH y la utilización de la corteza de maracuyá, con la eliminación previa de la capa superficial. Se determinó como el mejor proceso de extracción la eliminación de la capa superficial amarilla del maracuyá y una hidrólisis ácida a un pH 3.

En 2010, Yojani Maldonado Culquimboz y Sarita Mercedes Salazar Ocampo realizaron el estudio *Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis ácida en frutos de maushan (Vasconcellea Webebaueri (Harms) V.M.*

Badillo) en dos índices de madurez provenientes del distrito de San Miguel de Soloco Región Amazonas para la Universidad Nacional “Toribio Rodríguez de Mendoza” de Amazonas en Perú. Se determinó durante la experimentación el estado sazón del fruto como óptimo para el proceso, así mismo el ácido fosfórico como agente de extracción. Se empleó a pH 2 y generó rendimientos por arriba del 28 %. La pectina óptima fue extraída con ácido cítrico a pH 2 y 2,5 para la gelificación y análisis sensorial en mermelada de piña.

En 2010, Marcela Elizabeth Aza Espinosa y Mario Antonio Méndez Arellano realizaron como trabajo de graduación a nivel licenciatura en la Universidad Técnica del Norte en Ibarra, la investigación titulada *Extracción de pectina de nopal (Opuntia Ficus Indica) por medio ácido aplicando dos niveles de temperatura, tiempo y estados de madurez*. Durante la experimentación se manejó un intervalo de pH de 2 a 3, utilizando como agente extractor el ácido clorhídrico durante 30 y 60 min a 80 – 90 °C. Se determinaron como condiciones óptimas para la extracción con mayor rendimiento y grado de esterificación temperaturas bajas y tiempos mínimos. Se consideró fundamental el grado de madurez del fruto, que en este caso se encontraba en un estado maduro aproximadamente de 12 meses.

En 2010, Jessonica Chacín, Merilyn Marín y Rosa D’Addosio realizaron la investigación titulada *Evaluación del contenido de pectina en diferentes genotipos de guayaba de la zona sur del Lago de Maracaibo*, en el cual se evaluó el uso del ácido clorhídrico como agente de extracción por hidrólisis ácida. Se obtuvo como resultado hasta un 50 % de rendimiento de extracción promedio. La pectina extraída cumplió con las propiedades gelificantes, el contenido de metoxilo y ácido galacturónico para la industria alimenticia.

En 2009, Cecilia Grunauer E. y la M. Sc. Fabiola Cornejo Z. realizaron en la Escuela Superior Politécnica de Litoral, Guayaquil, Ecuador, el estudio titulado *Influencia del secado sobre la captación de agua de pectina extraída a partir del Citrus x Aurantifolia Swingle*. Durante su investigación se analizó el efecto de la temperatura durante la etapa de secado de la pectina y su capacidad de gelificación empleando dos temperaturas 50 y 70 °C. Se determinó la temperatura como un factor que afecta el grado de esterificación de la pectina, se redujo su contenido de metoxilos, lo cual indica que a mayor temperatura de secado se produce mayor degradación de los grupos metoxilos. Disminuyó la formación de puentes de hidrógeno con el agua y la gelificación de la pectina extraída.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Los cítricos

De todas las especies frutales tropicales y subtropicales, los cítricos son los más estudiados y cultivados mundialmente. Se cultivan en casi todas las regiones del mundo en donde lo permitan las condiciones climáticas. Actualmente se producen grandes cantidades de fruta destinadas a la exportación en las áreas subtropicales, mientras que, en las áreas tropicales, su consumo es principalmente local.

“Según la mayoría de los autores, lo más probable es que se hayan originado en el Sureste de Asia (especialmente en Vietnam del Sur y regiones cercanas a China) o bien, en el Sureste de Arabia, excluyendo aquellas áreas donde hay bosque tropical húmedo o jungla. Se cree que su cultivo en esta región se remonta a los 2400 años A.C. Así, por ejemplo, se sabe que la sidra o Citrus médica tuvo importancia religiosa para los judíos y para otros grupos humanos, antes del nacimiento de Jesucristo”.³

2.1.1. El desarrollo de un fruto cítrico

El desarrollo de un fruto está ligado desde su inicio a todo el proceso de cultivo, para obtener el crecimiento óptimo y garantizar la calidad de sus propiedades fisicoquímicas.

³ BARAONA, Marcia; SANCHO, Ellen. Morfología, taxonomía, usos e importancia nutritiva. *Fruticultura especial II: Cítricos 1*. p. 16.

2.1.1.1. El fruto

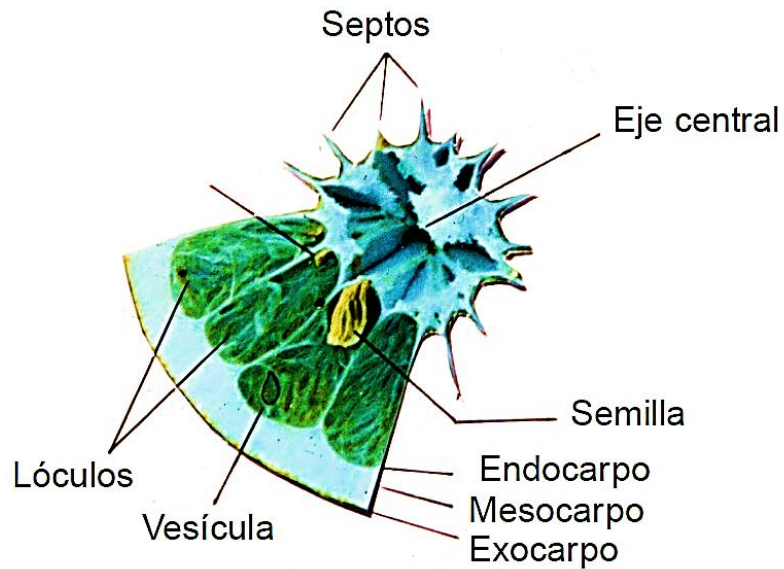
Los hesperidios son bayas típicas de los cítricos, consideradas como sus frutos. En él pueden distinguirse las siguientes partes figura 1:

- Exocarpio o flavedo, que es la región más externa y constituye la parte visible de la corteza, formada por células epidérmicas de color verde cuando el fruto es inmaduro y naranja o amarillo, según la especie, en la madurez.
- Mesocarpio o albedo es la región situada debajo del exocarpo, formado por un tejido blanco esponjoso de células parenquimáticas.
- “Endocarpio está compuesto por los lóculos o gajos, considerados como la parte más interna del cítrico”.⁴

El exocarpio y mesocarpio constituyen la corteza del fruto propiamente dicha. En el endocarpio se presentan pequeños lóculos dentro de los cuales se encuentran dentro de los lóculos del endocarpio.

⁴ AGUSTÍN, Manuel. Desarrollo y tamaño del fruto. *Citricultura*. p. 56.

Figura 1. **Sección transversal de un fruto cítrico**



Fuente: AGUSTÍN, Manuel. Desarrollo y tamaño del fruto. *Citricultura*. p. 58.

2.1.2. **Fases del crecimiento**

El desarrollo de un fruto con un comportamiento semejante al de una curva sigmoideal, desde la antesis hasta su maduración, logra definir bien característicamente tres períodos:

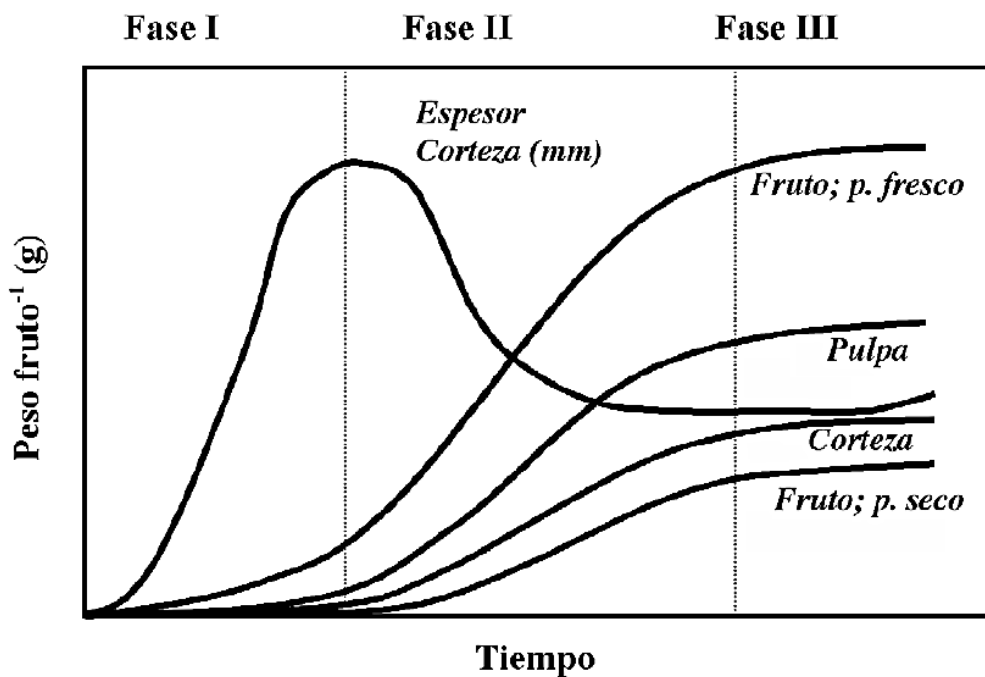
- Período de crecimiento exponencial o fase I: la duración del período viene dada desde la antesis hasta la caída fisiológica de los frutos. Al darse el crecimiento caracterizado por la división de las células, provoca el aumento de células, a excepción del eje central. Durante este periodo se da un aumento en el tamaño del fruto, debido al crecimiento de la corteza. Genera un aumento de volumen del escarpo por la división de sus

células, así como un aumento de volumen en el mesocarpio por engrosamiento de sus paredes celulares y un aumento de tejido vascular.

- Período de crecimiento lineal o fase II: período de prolongación de varios meses. Una expansión de los tejidos permite caracterizarlo, así como un agrandamiento celular e intercelular en el mesocarpio. Estos son de gran tamaño, lo cual que le confiere una consistencia esponjosa, con división celular en el exocarpio a excepción de los demás tejidos. El desarrollo de los lóculos se considera principalmente la causa del aumento de tamaño durante esta fase, en cuyo interior las vesículas de zumo llegan a alcanzar su máxima longitud. El contenido en zumo de sus células aumenta.
- “Período de maduración o fase III, el período se caracteriza por una reducida tasa de crecimiento mientras el fruto se mantiene en el árbol y comprende todos los cambios asociados a la maduración”.⁵ Genera un incremento del tamaño del fruto debido al aumento de los segmentos de pulpa, en anchura del eje central y al crecimiento de la corteza. En algunas variedades llega a ser muy importante y en otras apenas es perceptible. La pigmentación de la corteza se debe a la degradación enzimática de las clorofilas del flavedo y de la síntesis de carotenoides, coinciden ambos procesos normalmente en la maduración interna. Durante el proceso de duración, aumenta el contenido en sólidos solubles, sobre todo azúcares y compuestos nitrogenados, mientras que los ácidos libres disminuyen.

⁵ AGUSTÍN, Manuel. Desarrollo y tamaño del fruto. *Citricultura*. p. 152.

Figura 2. Fases del desarrollo de un fruto cítrico



Fuente: AGUSTÍN, Manuel. Desarrollo y tamaño del fruto. *Citricultura*. p. 152.

2.2. Limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.)

El limón ponderoso es una fruta de gran tamaño con una corteza gruesa y llena de baches. Dado que tanto el árbol como la fruta se parecen a la sidra en la mayoría de los aspectos, no hay duda de que Ponderosa es un híbrido entre una cidra y un limón. “Esta variedad se originó alrededor de 1887 como una planta de semillero cultivada por George Boman de Hagerstown, Maryland, y fue nombrada e introducida en el comercio de viveros en 1900. El limón ponderoso es una bonita ornamental con sus flores teñidas de púrpura y nuevo crecimiento, sin embargo, es sensible al frío y muy espinoso”.⁶

⁶ AGUSTÍN, Manuel., et al. Cuajado y Desarrollo de los frutos cítricos. *Citricultura*. p. 130.

2.2.1. Descripción

Los limones ponderosa han sido apodados el "limón de cinco libras", ya que los frutos son enormes. Se encuentran en el rango de dos a cuatro libras. A menudo pueden alcanzar el tamaño de pomelos o incluso balones de fútbol. Los limones ponderosa son de forma ovoide con cuello corto. "La corteza es más gruesa y llena de baches que los verdaderos limones, con un típico color amarillo limón. En el interior, la fruta es de un color amarillo verdoso pálido, jugoso y sórdido. El sabor es muy ácido, similar a los verdaderos limones".⁷

Tanto la fruta como la planta son claramente cidras en la mayoría de los aspectos, y no cabe duda de que ponderosa es un híbrido entre la cidra y el limón. Ponderosa es importante principalmente como una rareza y ornamental, aunque la fruta puede usarse como un sustituto del limón. Se usa de alguna manera como una planta tubular en patios, como ornamental en California y Florida.

Los limones ponderosa se pueden encontrar durante todo el año con temporada alta a fines de la primavera y el verano.

⁷ Herbreith & Fox. *The Specialists for Pectins*.
<https://www.yumpu.com/en/document/view/8381024/thespecialists-for-pectin-herbreith-fox>.

Figura 3. **Fruto maduro de limón ponderosa**



Fuente: University of California Riverside. *Sciences Citrus Variety collection*.
<http://www.citrusvariety.ucr.edu/citrus/ponderosa.html>. Consulta: 30 de febrero de 2019.

2.2.2. Valor nutricional

“Al igual que el *Citrus x limon* y otros cítricos, los limones Ponderosa son ricos en vitamina C. Una media taza de jugo de limón contiene la recomendación diaria completa de vitamina C. Los limones también tienen pequeñas cantidades de fibra dietética y hierro y son bajos en calorías. El jugo contiene antioxidantes que promueven la salud y fortalecen el *sistema* inmunológico”.⁸

⁸ BOATELLA, JOSEP. Mermeladas y confituras. *Química y bioquímica de los alimentos II*. p. 107.

2.3. Potenciales usos del residuo cítrico

La corteza de un fruto cítrico representa del 20 al 60 %. Es el residuo que queda al extraer el jugo del endocarpio y las esencias del epicarpio de los frutos.

En las industrias alimenticias que se dedican a la elaboración de jugos, este material representa un gran inconveniente a no ser que se utilice o se retire diariamente del lugar, por su rápida putrefacción, lo cual genera serios problemas sanitarios en la planta y en los alrededores. Entre sus potenciales aplicaciones, se destacan:

- Cortezas deshidratadas: la cáscara, limpia y trozada, de frutos cítricos, se puede impregnar en jarabes de azúcar y deshidratar, para obtener un producto de diversas aplicaciones alimenticias.
- Cortezas en salmuera: las cáscaras de naranjas y toronjas se curan en salmuera de 3 a 4 % de sales, hasta obtener un producto firme y de fácil transporte. Se realiza un profundo lavado con agua fría para impregnar el jarabe de azúcar y obtener un producto de confituras.
- Fibra alimentaria: cuando la corteza es de gran cantidad esta aplicación aparece como la más beneficiosa para utilizar todo el residuo existente.
- Extracción de pectina: la protopectina es uno de los principales constituyentes del albedo, el cual es insoluble en agua y precursor de pectina. El producto de la hidrólisis de este polisacárido de la corteza agotada es la pectina que, dada su solubilidad en agua, tiene propiedades gelificantes, espesantes, emulsificantes, aglutinantes de la sangre. La aplicación tecnológica de la pectina, bajo condiciones

óptimas, en la formulación de compotas, jaleas, conservas, productos de panadería confitería, helados, entre otros.

Como se muestra anteriormente, la relevancia de la utilización de los cítricos en la obtención de pectina consiste en la diversidad de aplicaciones de la misma, las cuales hasta el momento no están todas estudiadas. Además, adoptando un diseño de obtención adecuado de la pectina, es posible obtener un residuo agotado rico en celulosa que es factible utilizarlo como fibra para alimentación humana o animal.

2.4. La pectina y sus orígenes

“La pectina fue descubierta cuando Vauquelin encontró una sustancia soluble de los zumos de frutas en 1790. El científico francés Braconnot continuo el trabajo de Vauquelin y encontró que una sustancia ampliamente disponible de plantas vivas y ya observada en el pasado, al añadirle ácido a su solución observó propiedades gelificantes lo cual llamo “pectina ácida”. Del griego “pectos” que significa sólido coagulado”.⁹

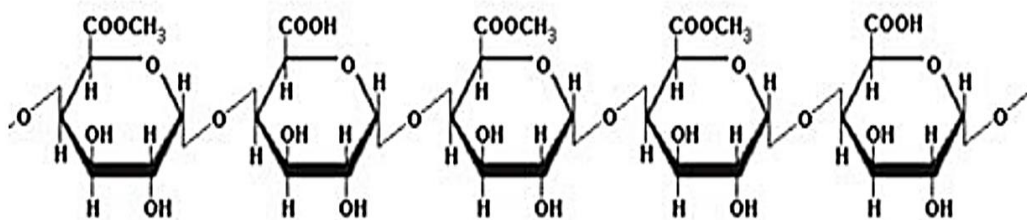
Las sustancias pépticas son un grupo complejo de polisacáridos ubicados en la laminilla media y la pared prima de las células vegetales. Contribuyen a la llamada textura de las frutas, los vegetales y los productos procesados. La pectina son ácidos pectinados solubles en agua de grado de metilación variado que son capaces de formar geles con azúcar y ácido bajo condiciones determinadas.

⁹ BONNELL, Joseph. *Process for the production of useful products from orange peel*. p. 42.

Uno de los componentes principales de la pectina determinado durante su análisis es el ácido poligalacturónico, el cual se encuentra esterificado con metanol. Se encuentra principalmente en las frutas y vegetales, para aprovechar su capacidad para balancear el equilibrio del agua dentro del sistema.

“La estructura regular se interrumpe con unidades de L-ramnopiranosil como 0- α -D- Galp A-(1->2)-0-L-Rhap-(1-4)-0- α -D-Galp A, posiblemente en configuración β lo que garantizara el grado de ensortijamiento en la estructura, complementado por otros azúcares neutros en las cadenas laterales, como arabinosa y D-xilosa, los cuales ejercen una función importante en la formación de una red tridimensional a través de uniones hidrógenos, enlaces cruzados de cationes bilaterales o interacciones hidrofobias. De cualquier manera, las interrupciones de azúcar en la cadena lineal de α -D-ácido galactopiranosilurónico, como unidad simple o bloques de cada pectina”.¹⁰

Figura 4. **Región de la cadena lineal de la estructura de la pectina**



Fuente: CERDA, Joan; BURGÍN, Albert. *Preparation and use of a protein-enriched pectin composition*. p. 5.

¹⁰ DURÁN, Verónica; HONORES, María. *Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora Edulis)*. p. 37.

El ablandamiento que ocurre durante el proceso de madurado o calentamiento se ve acompañado por una pérdida de protopectina y un incremento en pectina soluble en agua, lo cual indica que no toda fruta cítrica es apropiada para la obtención de este gelificante. Su cotización depende del peso molecular de las sustancias pécticas, del grado de esterificación y de la cantidad y características del compuesto inerte que acompaña como lastre al producto final.

Los grandes proveedores de pectinas se obtienen de materiales vegetales con un alto contenido de la misma, tales como manzanas, frutas cítricas, piña, guayaba duce, tomate de árbol, maracuyá y remolacha. La calidad de la pectina obtenida depende del tratamiento que se realice a las materias primas, así como de las necesidades de los productos terminados.

2.4.1. Tipos de pectina

Las pectinas se dividen en tres grupos según su grado de gelificación, asociada con el grado de esterificación metílica.

2.4.1.1. Pectina de alto índice de metoxilo

“Las pectinas con alto índice de metoxilo, determinando el grado de esterificación con radicales metílicos, presenta más de un 50 % de unidades del ácido poligalacturónico esterificadas provocando la no reacción con iones calcio. El contenido de ácido, el tipo de pectina y la cantidad de sólidos solubles que generalmente es más del 55 %, de dichos factores depende el poder de gelación.

Estas pectinas son utilizadas para estabilizar bebidas fabricadas a partir de leche ácida ya que reaccionan con la caseína”.¹¹

Para la obtención de geles de pectina de alto metoxilo la primera condición es mantener un pH bajo, para que los grupos ácidos minoritarios se encuentren fundamentalmente en forma no ionizada y no existan repulsiones entre cargas.

“La ionización aproximadamente de la mitad de los grupos carboxilo del ácido galacturónico se da en un rango de pH 3,5 a 2. Siempre que se presente un material muy hidrófilo (azúcar) que retire el agua. Por lo tanto, las pectinas de alto metoxilo formarán geles a pH entre 1 y 3,5 con un contenido de azúcar entre el 55 % como mínimo y el 85 %”.¹²

Las pectinas HM se utilizan principalmente en las confituras con objeto de conseguir la temperatura de gel propia de este tipo de productos. Las propiedades se ven afectadas. El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo es directamente proporcional el grado de esterificación y la temperatura de gelificación. Se puede distinguir tres tipos distintos de pectina de alto metoxilo. Se diferencian entre sí en relación al tiempo que tardan en iniciar la gelificación una vez terminado el proceso de elaboración del producto.

¹¹ REGINALD, Walter; JAMS, Jellies and Preserves. *The Chemistry and Technology of Pectin*. p. 24.

¹² STECHINA, Damian. *Estudio de obtención de pectina aplicando procesos de membrana*. p. 23.

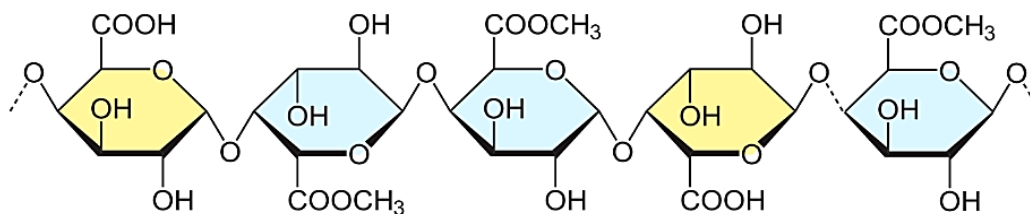
Tabla I. **Tipos de pectinas HM y características**

Tipo de pectina	Grupos carboxílicos esterificados	T °C de gelificación	Tiempo de gelificación
Cuajado rápido Cuajado medio rápido Cuajado lento	>68 % >60 % y <68 % <60 %	Relativamente alta Media Baja	Corto Medio Largo

Fuente: AGUSTÍN, Manuel., et. al. Cuajado y Desarrollo de los frutos cítricos. *Citricultura*. p. 130.

La elección de cada una de estas pectinas depende, en cada caso, de las características del propio producto y de la temperatura de envasado.

Figura 5. **Estructura molecular de la pectina de alto índice de metoxilo**



Fuente: CERDA, Joan., y BURGÍN, Albert. *Preparation and use of a protein-enriched pectin composition*. p. 5

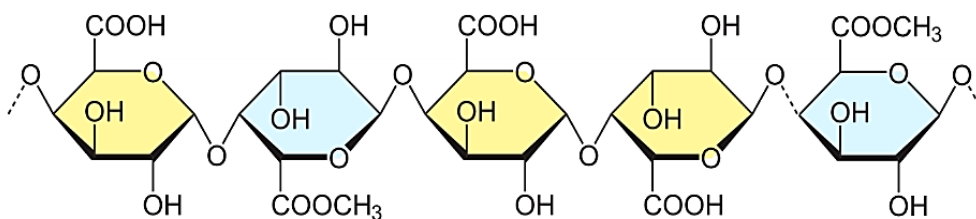
2.4.1.2. **Pectinas de bajo índice de metoxilo**

Las pectinas con bajo índice de metoxilo son las que tienen menos del 50 % de unidades esterificadas del ácido poligalacturónico y, por lo tanto, forman geles

no solo con sólidos solubles que contienen iones calcio sino también con azúcares y otros ácidos. “En este caso el poder de gelación también depende del pH y de la concentración de iones calcio, lo cual influye en la textura de la gelatina formada”.¹³

En las pectinas de bajo metoxilo la formación de geles es totalmente distinta, ya que los iones de calcio permiten la unión entre cadenas, en las cuales las cargas negativas forman puentes, pero algo menos ordenadas. La concentración de calcio es importante a menos de alcanzar la saturación de calcio, en el cual el tipo concreto de pectina no influye. Las pectinas de bajo metoxilo forman geles de consistencia máxima con cantidades de calcio que oscilan de 20 a 100 mg por gramo de pectina. La cantidad de calcio necesaria influye en la presencia de azúcar al reducirla. Por lo tanto, al presentar menor cantidad de azúcar el producto, la consistencia la darán las pectinas de metoxilo menor. El rango de pH de 1 a 7 es óptimo para la formación de geles, sin afectar su textura o sólidos solubles. Generando geles con altos porcentajes de calcio.

Figura 6. **Estructura molecular de la pectina de bajo índice de metoxilo**



Fuente: CERDA, Joan., BURGÍN, Albert. *Preparation and use of a protein-enriched pectin composition*. p. 5.

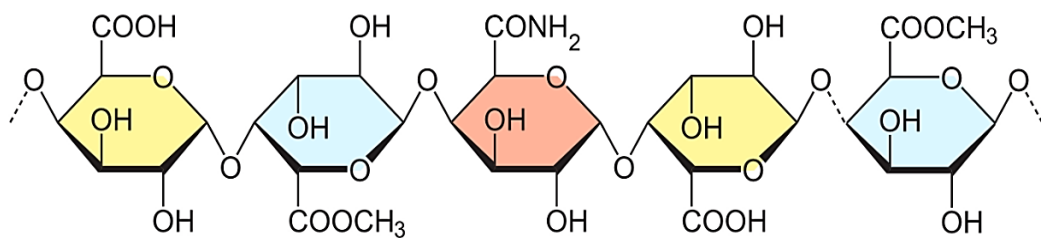
¹³ CABARCAS, Esteban, GUERRA, Adrián; HENAO Cesar. *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*. p. 14.

2.4.1.3. Pectinas amídicas con bajo índice de metoxilo

Las pectinas amídicas con bajo índice metoxilo son aquellas que han sido desmetoxiladas con amoníaco en lugar de usar ácidos. Cuando se hace el proceso de desmetoxilación, una parte de los grupos ésteres se reemplaza por grupos amida, lo cual modifica las propiedades de gelación de la pectina. Requiere pequeñas cantidades de iones calcio para el proceso de gelatinización.

Forman geles en presencia de calcio y tienen como ventaja una mayor tolerancia frente a la concentración de este ion, en comparación con las pectinas de bajo metoxilo convencionales. Además de tener menos del 50 % de grupos metoxílicos, contiene entre el 1 y el 25 % de grupos amídicos. A mayor grado de amidación, la temperatura de formación de geles es también mayor.

Figura 7. Estructura molecular de pectina amídica de bajo índice de metoxilo



Fuente: CERDA, Joan., BURGÍN, Albert. *Preparation and use of a protein-enriched pectin composition*. p. 5.

2.4.2. Propiedades fisicoquímicas de la pectina

“Las pectinas con considerados hidrocoloides con propiedades espesantes, estabilizantes y sobre todo gelificantes al encontrarse en solución acuosa. Presentan insolubilidad en alcoholes y disolventes orgánicos corrientes con una solubilidad parcial en jarabes ricos en azúcares”.¹⁴

2.4.2.1. Solubilidad

La solubilidad varía en función de las condiciones. Las cadenas de polipépticos sufren una separación provocada por los enlaces metílicos, lo que las hace más solubles. La pectina presenta su mayor solubilidad en agua de 2 a 3 %; es soluble también en formamida, dimetilfermamida y glicerina caliente.

En una solución de agua – pectina se presentan fácilmente grumos viscosos por fuera y secos por dentro. Es adecuada una previa mezcla con azúcar, sales amortiguadoras o humedecer con alcoholes antes de añadir agua.

La pectina es insoluble en solventes orgánicos y en soluciones de detergentes cuaternarios, polímeros, proteínas y cationes polivalentes; estos agentes se emplean para precipitar la pectina de las soluciones de un proceso de hidrólisis por tratamiento de la materia prima.

2.4.2.2. Acidez

“En su estado natural las pectinas son neutras es decir un pH 7, el cual varia al encontrarse en solución generando un carácter acido el cual depende del

¹⁴ MORALES, Silvia. *Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos*. p. 43.

medio y del grado de esterificación”.¹⁵ El pH de las soluciones de pectina varía entre 2,8 y 3,4 como función del grado de esterificación. La pectina tiene una constante de disociación de $0,1$ a 10×10^{-4} a 19 °C.

A pH mayores o menores de 4 ocurre la desesterificación y depolimerización; con velocidad mayor, la desesterificación. La depolimerización a bajos valores de pH ocurre por medio de hidrólisis catalítica ácida de uniones glicosídicas, preferentemente ramnopiranosil y L-arabinofuranosil.

Las soluciones de pectina son estables a valores de pH 5 a 6 solamente a temperatura ambiente. A valores mayores a 6 la deesterificación son reacciones rápidas aún a temperatura ambiente.

2.4.2.3. Viscosidad

Al entrar en contacto con agua, las pectinas forman soluciones viscosas, tanto en sus características como el grado de polimerización, temperatura, entre otros. En las pectinas con alto grado de esterificación la viscosidad por efecto de su presencia aumenta al incrementar el peso molecular, los grupos laterales y la concentración de la pectina en solución.

“La viscosidad de la pectina se ve aumentada al utilizar el calcio y otros iones polivalentes y algunas pectinas de bajo metoxilo cuando concentraciones de calcio superan un cierto límite pueden gelificar”.¹⁶

¹⁵ ROJAS, Jennifer., PEREA, Aisdé; Stashenko, Elena. Vitae. *Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos*. p. 6.

¹⁶ DURÁN, Verónica; HONORES, María. *Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora Edulis)*. p. 37.

2.4.2.4. Peso molecular

El peso molecular de la pectina, relacionado con la longitud de la cadena, es una característica muy importante que depende de la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en la gelificación de las jaleas. La longitud de las cadenas que conforman a la pectina está íntimamente relacionada al poder gelificante, dado que determina la consistencia del gel y con el peso molecular.

2.4.2.5. Gelificación

La tecnología alimentaria considera que la propiedad más importante de las pectinas es su aptitud para formar geles. Estos consisten en moléculas poliméricas con enlaces entrecruzados que forman una red interconectada y tupida inmersa en un líquido.

La velocidad de gelificación depende del grado de metilación. También es responsable de algunas propiedades organolépticas de los geles pectina-azúcar ácido que forman las pectinas de alto metoxilo.

La gelificación se ve afectada por los factores de los medios. Los más importantes son:

- Temperatura
- pH
- Azúcar y otros solutos
- Iones calcio

La tendencia a gelificar aumenta debido a las energías térmicas de las moléculas al momento de dejar enfriar una solución que contiene pectina. Al tener

un sistema que contenga pectina, se presenta un límite superior de temperatura, por encima de la cual la gelificación nunca ocurrirá. El tiempo de gelificación en pectina de alto metoxilo influirá de manera directa, mientras que, de bajo metoxilo, la gelificación será casi instantánea al trabajar con temperaturas por debajo de la crítica.

“Las moléculas de pectina en solución se tienden a deshidratar generalmente al estar con hidratos de carbono. Cuanta menos agua disponible para actuar como disolvente de la pectina por mayor porcentaje de sólidos en solución la tendencia a gelificar se favorece”.¹⁷

“En valores de sólidos solubles superiores al 85 % el efecto deshidratante es tan fuerte que la gelificación de la pectina es muy difícil de controlar. A valores superiores de 55 % de sólidos solubles las pectinas de alto metoxilo gelifican. Para cada valor de sólidos solubles superior a 55 % hay un valor de pH en el cual la gelificación es óptima y un rango de pH en el que en la práctica se puede gelificar. La temperatura de gelificación disminuye al disminuir el contenido en sólidos solubles”.¹⁸

2.4.2.6. Acción de las bases

La acción de las bases como hidróxido de sodio permite obtener primero las sales ácidas, luego los pectinatos neutros y después ocurre el fenómeno de metoxilación o rompimientos de los ésteres metílicos. Los grupos éster pueden ser separados de la molécula aun a baja temperatura, sin depolimerización.

¹⁷ CAYÓN, Gabriel., VALENCIA, Luis., y MORALES, Héctor. *Desarrollo y producción del plátano Dominicano Hartón (Musa AAB Simmonds) en diferentes densidades y arreglos de siembra*. p. 39.

¹⁸ Silvateam S. p. a. *¿Qué es la pectina?* <https://www.silvateam.com/es/produccion-y-servicios/aditivos-alimentarios/pectina/qu-es-la-pectina.html>.

2.4.2.7. Acción de los ácidos

La acción de los ácidos solubiliza la protopectina. Por esta razón se emplea medio ácido controlado en los procesos de extracción de la pectina, que aceleran la separación de los metoxilos. Si su efecto continúa se afectan los enlaces glicosídicos 1-1 y se presenta la descarboxilación con formación de CO₂ y furfural. A bajas temperaturas predomina la saponificación y a altas temperaturas, la despolimerización.

2.4.3. Obtención de la pectina

Para la obtención de las pectinas existen numerosos procesos patentados. Dependiendo del tipo de proceso se obtiene un producto de diferente calidad, con diferentes aplicaciones.

Un proceso patentado consiste en convertir la materia prima de una sal cálcica de la pectina en un medio líquido, luego secarla para obtener un pectinato. Al colocarlo en agua, la absorbe y forma partículas estables de un diámetro medio equivalente a más de 100 micrómetros.

En otro método se determinó la posibilidad de hidrolizarla y extraerla del tejido vegetal, tal como la cáscara de naranja, sin la adición de un ácido. Se logró solubilizar pectinas con alto contenido de metoxilos y luego recuperarlas por concentración y secado.

La posibilidad de obtener un producto enriquecido en pectina en forma granular para su uso en alimentos y bebidas, con la materia prima en contacto con una proteína comestible, debe ser soluble en agua y permitir su precipitación

al utilizar un solvente específico. En este caso se puede mejorar el rendimiento al agregar un ácido.

La biotecnología ha permitido establecer un procedimiento en el cual un tejido vegetal se somete a la acción de microorganismos *Bacillus* para extraer la pectina presente en el tejido vegetal empleado. Se obtiene fácilmente una pectina de alto peso molecular con un buen rendimiento.

Para aprovechar las cáscaras resultantes de la extracción del jugo de los frutos cítricos se estandarizó un proceso para la máxima recuperación de las pectinas, considerando diferentes solventes: relación de cáscara/solvente, tiempo de extracción, número de extracciones y tamaño de las cáscaras. Se determinó como mejor solvente el ácido clorhídrico a 0,1 N. Dos extracciones de las cáscaras pulverizadas ayudaron a la extracción y la precipitación con alcohol fue mejor que la precipitación con cloruro de aluminio.

2.4.4. La pectina en la industria alimenticia

Para la industria alimenticia, la pectina es importante por su amplia aplicación en diversos productos como dulces, mermeladas, caramelos de fruta, bebidas a base de frutas, bebidas lácteas, sorbetes, confituras, entre otros.

La aplicación de pectina a un alimento otorga la liberación de sabor, gusto y control de cristalización de sorbetes. También tiene una amplia aplicación en el campo de los complementos alimenticios. Sus propiedades gelificantes permiten que la pectina sea aplicada como un efectivo depurador del sistema digestivo.

2.4.4.1. Frutas con bajo contenido de pectina

Al elaborar una mermelada con fruta fresca se debe considerar factores importantes como la presencia de pectina. Cuando se utilizan frutos con bajo contenido de pectina para elaborar una mermelada, será necesario agregarla.

La selección de la fruta para la elaboración de mermeladas debe ser estratégica, utilizando frutas que proporcione la pectina y el ácido suficiente. El grado de maduración de la fruta debe proporcionar un buen sabor, pero con un contenido de pectina menor que el de la fruta verde. Por lo tanto, se considera adecuada la combinación de fruta madura y verde que permita el aporte necesario.

Tabla II. Nivel de pectina en las frutas

Alto	Medio	Bajo
<ul style="list-style-type: none">• Manzanas• Moras negras• Arándanos• Pomelos• Limones• Limas• Membrillos• Moras rojas	<ul style="list-style-type: none">• Albaricoque• Zorzamoras• Uvas• Ciruelas• Nísperos• Cereza• Mandarinas• Melocotón	<ul style="list-style-type: none">• Arándanos• Cerezas• Higos• Kiwis• Mangos• Peras• Piña• Fresa

Fuente: HERNÁNDEZ, Francisco; VILANOVA, Briz. *Mermeladas de Frutas*. p. 4.

2.4.4.2. Acción de la pectina en mermeladas

La consistencia de una mermelada juega un papel muy importante y es influenciado por distintos factores como el empaque en el cual se distribuirá, la manera de procesar, el manejo de sabores debido a la materia prima para su

fabricación. Como se mencionó, utilizar una fruta o verdura con bajo índice de pectina presenta posibles problemas de gelificación, lo cual se controló al adicionar pectina procesada.

Por dichas razones, la pectina ha tomado un lugar fundamental en la industria alimenticia. Ha permitido un gran desarrollo y aprovechamiento de residuos de cítricos, que son la fuente fundamental de pectinas de venta industrial.

2.4.4.3. Aspectos legislativos

La naturalidad de la pectina ha permitido una alta aceptación por los consumidores y ha provocado su utilización a nivel industrial en todo el mundo.

La pectina ha sido aprobada como un aditivo seguro que puede usarse a nivel industrial en el sector alimenticio. Se estableció una dosis aceptable con parámetros aprobados por el Comité Conjunto de Expertos en Aditivos Alimenticios (JECFA) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La pectina es considerada como segura por lo que puede usarse en alimentos, dependiendo de cantidad y en qué alimento se pretende utilizar.

2.4.5. Análisis sensorial

El análisis sensorial se considera una disciplina con la cual se mide e interpreta las reacciones de los consumidores con respecto a las características de los alimentos. Considera la estimulación que genera en los diferentes

sentidos. Dicha disciplina permite también conocer la calidad de los alimentos evaluados y las expectativas de aceptabilidad por parte del consumidor.

Las pruebas sensoriales se clasifican en tres grupos. Su aplicabilidad dependerá del objetivo o aspecto que se desea evaluar en un alimento o preparación.

Tabla III. **Clasificación de pruebas sensoriales**

Clasificación	Objetivo	Pregunta de interés	Tipo de prueba	Características de panelistas
Discriminatoria	Determinar si hay una diferencia entre dos productos.	¿Existe diferencia entre los productos?	Analítica	Entrenados o con agudeza sensorial.
Descriptiva	Determinar la naturaleza de las diferencias sensoriales.	¿Cuáles son las características que diferencian a los productos?	Analítica	Altamente entrenados.
Afectiva	Determinar la aceptabilidad de un producto por el consumidor	¿Qué producto gusta más y cuál es el preferido?	Hedónica	Reclutados por el uso de producto, no entrenados.

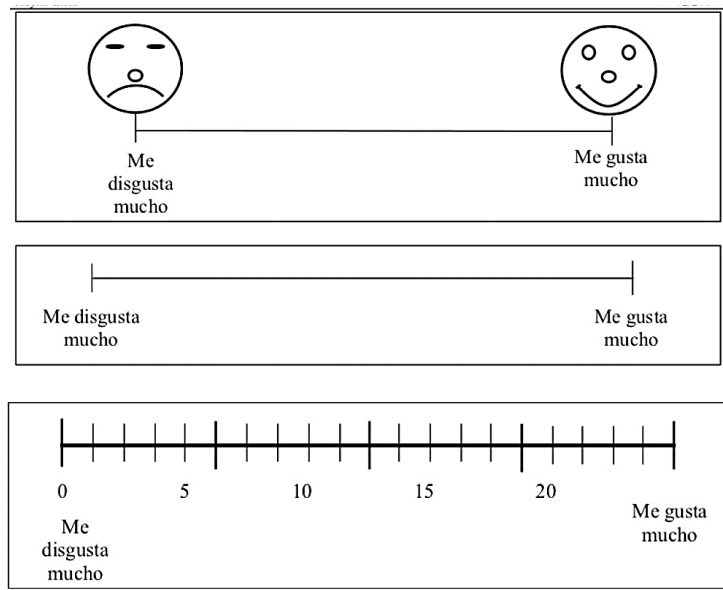
Fuente: ESPINOSA, María. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. p. 39.

- Prueba afectiva o hedónica: indica el grado de preferencia de un producto o la aceptabilidad del mismo, permite definir si hay una diferencia y la

magnitud de la misma. La aceptabilidad se refiere al grado de gusto o disgusto del producto estudiado; la preferencia en la elección entre los productos depende del agrado por parte del consumidor. La combinación de las pruebas de preferencia y aceptabilidad puede definir el diseño del producto en las condiciones óptimas e introducir el producto al mercado.

- Prueba de aceptabilidad: la escala a utilizar durante la prueba se modifica dependiendo del producto. La escala de respuesta se categoriza en escala, me gusta o no me gusta, lo que permite la evaluación de otros atributos del producto. El número de escalas puede variar, dependiendo de las alternativas por colocar en el análisis.

Figura 8. Ejemplos de escala de pruebas

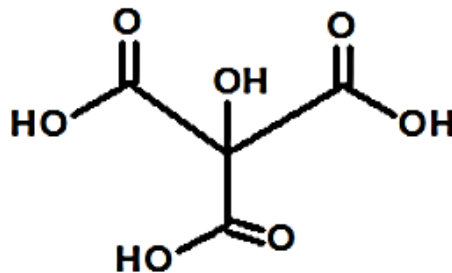


Fuente: ESPINOSA, María. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. p. 39.

2.5. Ácido cítrico

“El ácido cítrico es un ácido monohidroxi-tricarboxílico, formado por una parte anhidrita y otra hidratada representando cerca del 192,12 g y 210,14 g de su peso molecular total. Su proveniencia se puede establecer por fermentación producida por varias especies de hongos bajo condiciones controladas, así mismo se puede presentar en forma de ácido en diversas frutas. Su principal uso se basa en los alimentos proporcionando acidificación a los mismos”.¹⁹

Figura 9. Estructura química del ácido cítrico



Fuente: MUÑOZ, Alejandra; SÁENZ, Aidé; LÓPEZ, Lluvia; SIFUENTES, Liliana., y BARAJAS, Leticia. *Ácido cítrico: Compuesto interesante*. p. 7.

2.5.1. Equilibrio del ácido cítrico

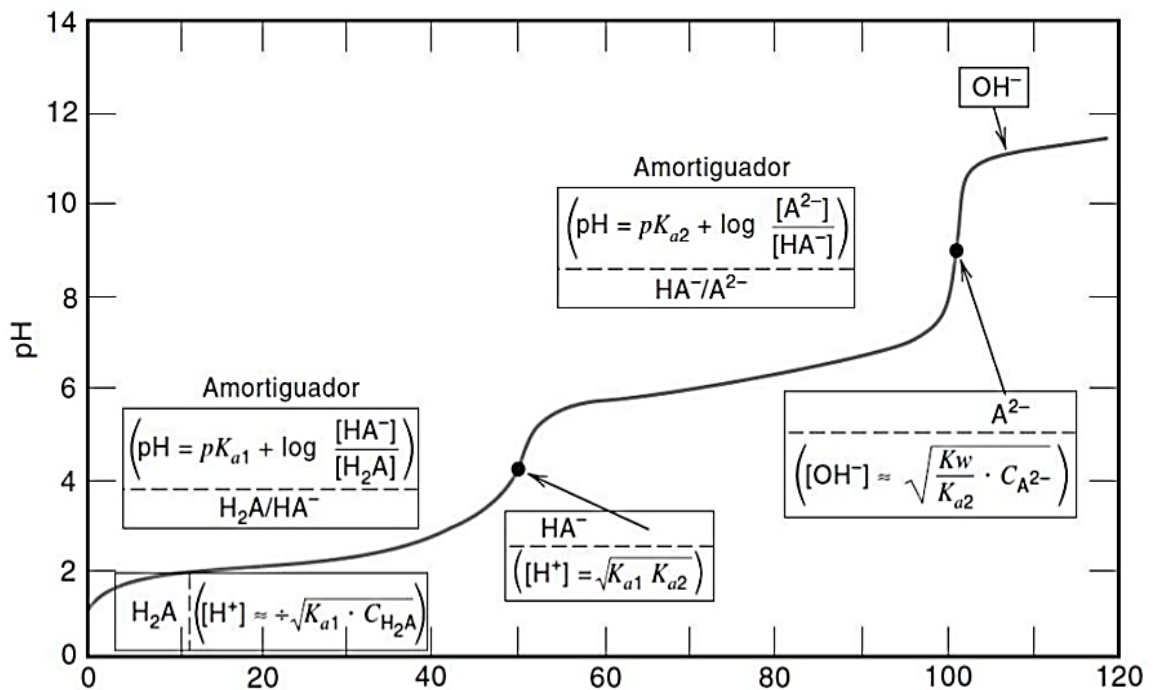
“El ácido cítrico es un ácido poliprótico es decir es polifuncional lo que indica que cuenta con más de un protón ionizable. La ionización del ácido se da por etapas y por cada una de ellas se puede determinar una constante de equilibrio.

¹⁹ MUÑOZ, Alejandra; SÁENZ, Aidé; LÓPEZ, Lluvia; SIFUENTES, Liliana; BARAJAS, Leticia. *Ácido Cítrico: Compuesto Interesante*. p. 7.

Las fracciones de especies disociantes un pH dado varían, dependiendo de la distribución de sus diferentes especies”.²⁰

Los equilibrios están dados al momento de alcanzar la valoración de cada uno de los iones hidronio que conforman al ácido. Al presentar diferentes pH, las especies del ácido cítrico se encuentran en equilibrio mutuo.

Figura 10. Curva de titulación de un ácido poliprótico



Fuente: MUÑOZ, Alejandra; SÁENZ, Aidé; LÓPEZ, Lluvia; SIFUENTES, Liliana; BARAJAS, Leticia. *Ácido Cítrico: Compuesto Interesante*. p. 7.

²⁰ TORRES, Nelly. *Determinación del potencial nutritivo y nutracéutico de cuatro cultivares de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav)*. p. 53.

Tabla IV. **Constantes de disociación del ácido cítrico**

Ácido Cítrico		
pka1	pka2	pka3
3,128	4,761	6,396

Fuente: MUÑOZ, Alejandra., SÁENZ, Aidé., LÓPEZ, Lluvia., SIFUENTES, Liliana., BARAJAS, Leticia. *Ácido Cítrico: Compuesto Interesante*. p. 7.

2.5.2. Bioquímica de la producción del ácido cítrico

Para la producción de ácido cítrico en exceso es necesario controlar las condiciones que nutren la producción de este, que influyen sinérgicamente en la fermentación y su rendimiento.

Durante el ciclo de Krebs se presenta un intermediario, que es el ácido cítrico. Este juega un papel fundamental para el equilibrio en la síntesis de energía y estado estable del ciclo.

2.5.3. Producción industrial

La producción mundial de ácido cítrico alcanza el 99 % con procesos microbianos que varían la utilización, la superficie o cultivos totalmente sumergidos. De la producción generada anualmente se considera que un 70 % va dirigido a la industria alimenticia, que lo utiliza como acidificante o antioxidantes, que preserva y mejora el sabor y el aroma del producto.

2.5.4. Aplicaciones

La industria alimenticia ha empleado el ácido cítrico como uno de los compuestos que proporciona acidez en la conservación y mejora de las propiedades organolépticas en los productos. La mayoría de los ácidos que contienen uno o más carboxilos se consideran aditivos alimenticios importantes.

La solubilidad en agua y el agradable sabor ácido ha permitido que se utilice con mayor frecuencia en los alimentos.

“La sustitución de materias primas importadas debido al mismo ácido cítrico y sus sales permite su uso en la industria de detergentes biodegradables. Debido a que los citratos generan ventaja en la formulación de detergentes como en la facilidad de tratamiento”.²¹

²¹ MUÑOZ, Alejandra., SÁENZ, Aidé., LÓPEZ, Lluvia., SIFUENTES, Liliana., BARAJAS, Leticia. *Ácido Cítrico: Compuesto Interesante*. p. 7.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables son propiedades fisicoquímicas que se monitorean durante la experimentación para responder las interrogantes científicas.

3.1.1. Variables independientes

Las variables independientes son aquellas que se modificarán durante el procedimiento.

Tabla V. Variables independientes

Variable independiente	Unidad
Temperatura	°C
pH	H ⁺
Tiempo	min

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Variables dependientes

A continuación, se muestran las variables que se verán afectadas durante el análisis.

Tabla VI. **Variables dependientes**

Variable dependiente	Unidad
Rendimiento	%
Contenido de metoxilo	%
Contenido de humedad	%
Porcentaje de ácido galacturónico	%
Viscosidad	cP
Grados Brix	--

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El presente estudio es de carácter cuantitativo-experimental. Se realizará la obtención de pectina del limón ponderosa mediante hidrólisis ácida, de la cual se evaluarán las condiciones óptimas y el rendimiento.

Para la obtención se variarán los factores: pH, temperatura y tiempo. Se evaluarán las propiedades fisicoquímicas como el contenido de humedad, contenido de metoxilo y acidez libre de la pectina.

Se analizará la aceptabilidad al aplicar en mermelada de fruta con bajo contenido de pectina con respecto a mermelada con pectina comercial. Se evaluarán sus propiedades organolépticas y fisicoquímicas.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigadora: Br. Wanda Judith Yoc Gatica

Asesora: MSc. Inga. Qca. Hilda Piedad Palma de Martini

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales están integrados por cristalería, instrumentos auxiliares y equipo de laboratorio que permitieron el desarrollo de la parte experimental de la investigación.

3.4.1. Equipo

Son los aparatos electrónicos que permitieron realizar mediciones y operaciones con diferentes sustancias durante la experimentación.

3.4.1.1. Equipo de medición

- Balanza analítica marca Boeco, modelo BPS 40 plus. Carga máxima de 750 g y mínima de 0,02 g, con legibilidad de 0,001 g, rango de tara de 750 g, temperatura de trabajo de +10 °C a +40 °C, alimentación de 110 a 230 V AC y 50/60 Hz.
- Medidor portátil de pH/CE/TDS marca Hanna Instruments modelo HI9813-5. Intervalo de medición de 0,0 a 14,0 pH, resolución de 0,1 pH, exactitud de $\pm 0,1$ pH, electrodo tipo sonda multiparamétrica preamplificador y tipo de batería 9 V.

- Cronómetro digital de mano marca CASIO HS-3, capacidad de presentación 9:59'59,99" y modos de medición de tiempo normal, tiempo fraccionado y tiempo neto.
- Viscosímetro DV-E marca Brookfield. Medición en cP o mPa*s, con repetibilidad del 0,2 %, con 18 velocidades de 0,3 a 100 rpm, alimentación de 110 a 250 V AC y 50/60 Hz.
- Refractómetro de mano modelo PCE-4582, marca PCE Instruments. Rango de medición de 45 a 82 °Brix, con precisión de 0,5 %, con lectura en escala óptica.

3.4.1.2. Instrumentos de laboratorio

- Soporte universal
- Pinzas de crisol de acero inoxidable
- Espátula de hoja ancha y flexible de acero inoxidable
- Papel filtro estándar
- Pizeta

3.4.1.3. Equipo auxiliar

- Plancha de calentamiento con agitador magnético marca Boeco, modelo MSH300N. Alimentación de 115 V, 50/60 Hz y 550 W.
- Horno CHF3CRA marca Premlab con alimentación de 120 V AC, 2 200 W y 60 HZ.
- Termómetro de alcohol rojo.
- Cámara de celular HUAWEI P20 lite de doble lente, con lente de 16 MP, pixeles de 1,12 µm y apertura de F2,2.

3.4.2. Cristalería

- 10 Beakers de 600 mL
- 1 embudo Büchner de porcelana
- 1 bureta de 50 mL
- 2 pipetas serológicas de 10 mL
- 3 probetas clase A de 10, 25 y 100 mL
- 5 vidrios de reloj de cristal
- 6 erlenmeyers de 250 y 600 mL
- 1 mortero con pistilo de porcelana
- 3 varilla de agitación de cristal
- 3 balones aforados de 100 y 1 000 mL
- 5 crisoles de porcelana

3.4.3. Reactivos

Los reactivos químicos fueron las sustancias o compuesto químicos que se utilizaron durante la experimentación para provocar una reacción.

3.4.3.1. Tipo industrial

- Hidróxido de sodio, grado reactivo
- Ácido cítrico glacial, grado reactivo
- Ácido clorhídrico, grado reactivo
- Fenolftaleína

3.4.3.2. Tipo comercial

- Etanol comercial a 70 %

- Agua desmineralizada

3.4.4. Materia prima para la obtención de pectina

- Limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica L. Burm. F.*)

3.4.5. Materia prima para la elaboración de mermelada de piña

- 1 000 g de pulpa de piña tropical
- 800 mL de agua potable
- 600 g de azúcar blanca
- 20 g de canela en polvo
- 5 g de pectina

3.5. Técnica cuantitativa

La técnica del estudio por realizar es de carácter cuantitativo, ya que se medirán parámetros fisicoquímicos para la obtención de pectina y su evaluación como producto final, así como su aplicabilidad en mermelada de fruta con bajo contenido de pectina. Se efectuará un análisis sensorial empleando técnicas cualitativas para dicha parte de la experimentación.

3.5.1. Obtención de pectina

El proceso se realizó desde la obtención de materia prima hasta obtener la pectina en condiciones óptimas para suministrarlo al alimento.

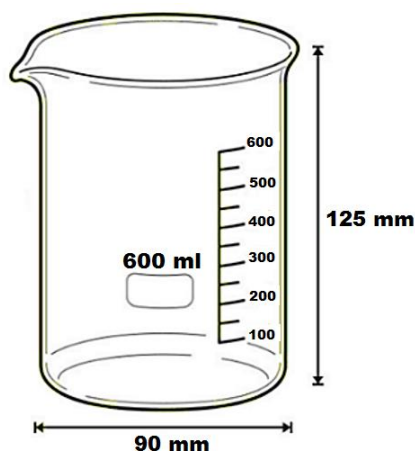
3.5.1.1. Preparación de materia prima

- Se seleccionaron los frutos de limón ponderosa en buen estado, sin hongos, gusanos o partes en descomposición.
- Se lavaron los limones con agua potable y jabón líquido.
- Se separó el mesocarpio del flabelo y endocarpio.
- Se cortó el mesocarpio en pequeños trozos de aproximadamente 1 cm.

3.5.1.2. Procedimiento de inactivación de enzimas pécticas

- Se colocó 50 g de mesocarpio en un beaker de 600 mL con agua desmineralizada en relación 1:3.
- Se calentó a punto de ebullición durante 15 min.
- Se descartó la solución heterogénea.
- Se enfrió el mesocarpio hasta llevar a temperatura ambiente.

Figura 11. Inactivación de enzimas pécticas

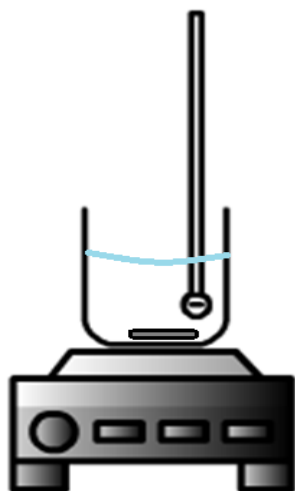


Fuente: elaboración propia.

3.5.1.3. Hidrólisis ácida

- Se prepararon las soluciones de ácido cítrico a un pH 2,5 en un balón de 1 000 mL.
- Se agregó el mesocarpio ya inactivado enzimáticamente en proporción 1:3 con la solución de ácido cítrico en un beaker de 600 mL.
- Se calentó la solución de ácido cítrico y el mesocarpio a 60 °C durante 40 min con agitación constante a 100 rpm.
- Se retiró de la plancha de calentamiento y se dejó enfriar durante 24 horas sobre vidrios de reloj, hasta que la solución alcanzó la temperatura ambiente.
- Se filtro la solución desechando los restos sólidos de mesocarpio.
- Se realizó el mismo procedimiento a pH 3 y 4.
- Se repitió el procedimiento a 90 °C.
- Se realizó el mismo procedimiento calentando durante 60 min.

Figura 12. **Equipo de lixiviación dinámica**



Fuente: elaboración propia.

3.5.1.4. Preparación de la pectina

- Se agregó a la solución filtrada etanol al 70 % en proporción 1,5 en un beaker de 600 mL.
- Se dejó reposar la solución durante 4 horas.
- Se filtró el precipitado obtenido con un filtro tipo büncher y papel filtro estándar.
- Se realizó lavados en el filtro büncher de la pectina precipitada con etanol etílico comercial al 70 % durante 2 minutos.

3.5.1.5. Secado de pectina

- Se colocó la pectina precipitada sobre papel filtro estándar.
- Se colocó el papel filtro con pectina sobre un crisol de porcelana.
- Se introdujo al horno de secado aproximadamente a 40 °C por 12 horas.
- Se retiró la muestra del horno y del papel filtro estándar.
- Se almacenó en frascos de vidrio.

3.5.1.6. Molienda y almacenamiento

- Se colocó en un mortero la muestra previamente secada.
- Se trituró hasta disminuir el tamaño de partícula.
- Se almacenó en frascos de vidrio en un lugar fresco.

3.5.2. Pruebas fisicoquímicas

El análisis fisicoquímico permitió conocer las propiedades intrínsecas de la pectina obtenida del limón ponderosa.

3.5.2.1. Contenido de humedad

- Se pesó 1,0 gramo de pectina limpia y seca.
- Se colocó dentro de un crisol y se introdujo al horno CHF3CRA.
- Se secó a 60 °C durante 24 horas.
- Se retiró el recipiente y se dejó enfriar en un desecador con cloruro de calcio.
- Se pesó y determinó el porcentaje de humedad, relacionando la pérdida de peso con la sustancia humedad.

3.5.2.2. Contenido de metoxilo

- Se colocó en un beaker de 250 mL, 0,5 g de pectina seca obtenida.
- Se agitó por 10 minutos con una mezcla (5:100) de ácido clorhídrico concentrado y alcohol 60 %.
- Se filtró en un embudo Buchner con 6 porciones de 15 mL de la mezcla (1:20) de ácido clorhídrico concentrado y alcohol al 60 %.
- Se lavó finalmente con 20 mL de alcohol al 60 %.
- Se secó a 60 °C por 60 minutos.
- Se dejó enfriar en papel filtro estándar.
- Se pesó 250 mg de la muestra obtenida anteriormente.
- Se colocó en un Erlenmeyer de 250 mL y se humedeció con 2 mL de etanol al 60 %.
- Se agregaron 50 mL de agua desmineralizada.
- Se tapó y agitó hasta disolver completa.
- Se agregaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador y se tituló con NaOH a 0,5 N (valor inicial).

- Se agregaron 10 mL de NaOH 0,5 N, se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 15 min.
- Se agregaron 10 mL de HCL 0,5 N, se agitó hasta que desapareció la coloración rosa.
- Se agregaron 2 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0,5 N hasta que la coloración rosa débil persistió después de agitar fuertemente la mezcla (valoración final).
- Cada mililitro de NaOH a 0,5 N fue equivalente a 15,22 mg de metoxilo (-OCH₃) en muestra seca.

3.5.2.3. Acidez libre

- El volumen consumido de hidróxido de sodio 0,5 N en la valoración total de la determinación de grupos metoxilo (valor inicial + valoración final).
- Cada mililitro de NaOH 0,5 N fue equivalente a 97,07 mg de ácido galacturónico.

3.5.3. Elaboración de mermelada de piña

- Se lavó la piña tropical con jabón líquido.
- Se retiró la cáscara de la piña dejando la pulpa.
- Se cortó la pulpa en pedazos pequeños y se retiró cualquier nudo pequeño o semilla.
- Se colocó en una marmita doméstica con 300 g de azúcar blanca y 20 mL de agua potable.
- Se agitó manualmente la mezcla durante 5 minutos.
- Se agregó el resto de azúcar blanca en porciones de 100 g hasta que se incorporó los 600 g de azúcar y se agitó durante 5 minutos.

- Se agregó el resto de agua potable en porciones de 20 mL, hasta que se alcanzó un total de 80 mL. El proceso se realizó con agitación constante.
- Se realizó la cocción de la mermelada, se utilizó una llama tipo premezcla durante 20 minutos.
- Se trituraron los trozos de piña en un triturador de aspas helicoidales hasta que se alcanzó una consistencia suave y un poco pulposa.
- Se mezcló 20 g de pectina con 20 g de azúcar blanca y se reservó.
- Se adicionó 5 g de pectina del limón ponderosa al producto obtenido de la marmita con agitación manual durante 5 min.
- Se repitió el procedimiento con la pectina comercial.

3.5.4. Propiedades fisicoquímicas de la mermelada de piña

- Se midió la viscosidad de una muestra de 100 mL de mermelada de piña con pectina comercial y la obtenida. Para ello se utilizó el viscosímetro Brookfield con aguja 0. Se repitió el procedimiento dos veces más.
- Se midió el pH de una muestra de 100 mL de mermelada de piña con pectina comercial y la obtenida. Se utilizó el medidor portátil de pH/CE/TDS marca Hanna Instruments modelo HI9813-5. Se repitió el procedimiento dos veces más.
- Se midieron los grados Brix de las mermeladas realizadas con un refractómetro manual PCE-4582. se colocó la muestra sobre el prisma y se determinó el valor con la escala óptica. El procedimiento se realizó dos veces más.

3.5.5. Análisis sensorial

- Se adecuaron las instalaciones en las cuales se llevó a cabo las pruebas.
- Se prepararon las muestras de mermelada de piña con pectina comercial y la obtenida del limón ponderosa.
- Se verifico la temperatura y cantidad de ambas muestras.
- Se identifico cada muestra de mermelada de piña con pectina comercial como AA, y las muestras con pectina de limón ponderosa como BB y CC.
- Se indicaron las instrucciones a los panelistas.
- Se entregó el documento del análisis a cada panelista para la evaluación de las pruebas.
- Se recolectaron los documentos.
- Se entrego un incentivo a los panelistas.

3.6. Análisis estadístico

A partir de los parámetros estadísticos se realizó un análisis para conocer el comportamiento de cada variable analizada durante el proceso.

3.6.1. Media aritmética

Las variables respuesta serán los promedios de las repeticiones de cada combinación trifactorial:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

\bar{x} : Media o promedio de las repeticiones de un mismo tratamiento.

x_i : Cada una de las mediciones (repeticiones) de un tratamiento.

n: Cantidad de repeticiones de un tratamiento.

3.6.2. Análisis de varianza de dos factores

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores. Se analizaron las propiedades y el rendimiento de la pectina obtenida al variar el pH, temperatura y tiempo, para verificar si existe alguna variación significativa según los factores mencionados.

3.6.2.1. Porcentaje de rendimiento

Se analizó la variabilidad del porcentaje de rendimiento de la pectina considerando cada variable dependiente e independiente del proceso.

Tabla VII. **Análisis de varianza de dos factores variando el pH y la temperatura a 40 minutos**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítico
Temperatura	15,4657	1	15,46572	0,9181	0,3475	4,2597
pH	83,4668	2	41,7334	2,4774	0,1052	3,4028
Interacción	16,4946	2	8,2473	0,4896	0,6189	3,4028
Dentro del grupo	404,3013	24	16,8459			
Total	519,7284	29				

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Análisis de varianza de dos factores variando el pH y la temperatura a 60 minutos**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítico
Temperatura	43,9036	1	43,9036	1,7408	0,1995	4,2597
pH	1222,2237	2	611,1118	24,2307	1,743E-06	3,4028
Interacción	17,2864	2	8,6432	0,3427	0,7133	3,4028
Dentro del grupo	605,2944	24	25,2206			
Total	1888,7081	29				

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla XVII se rechaza la hipótesis nula para ambos factores, debido a que en todos los casos la F crítica es mayor a la F calculada. Se indica de esta manera que el rendimiento no difiere significativamente al realizar la obtención a diferentes temperaturas y pH significativamente, con un nivel de confianza de 95 % y un tiempo de obtención de 40 minutos.

Para la pectina obtenida durante un periodo de 60 minutos, de acuerdo con la tabla XVIII se rechaza la hipótesis nula para el factor del pH y se acepta para la temperatura, con un nivel de confianza de 95 % y un tiempo de obtención de 60 minutos.

3.6.3. Análisis de varianza de un factor

El análisis de varianza permitió analizar la relación de las variables independientes con las dependientes.

3.6.3.1. Propiedades organolépticas

Se realizó un ANOVA de un factor para evaluar la aceptabilidad de la mermelada elaborada con la pectina obtenida con respecto a una elaborada con pectina comercial. Se presentaron tres muestras, de las cuales dos contienen pectina obtenida.

Tabla IX. **Análisis de varianza de un factor para las propiedades organolépticas**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	F crítico
Muestras	8,0264	2	4,0132	0,9435	0,3940	3,1239
Dentro de los grupos	306,2528	72	4,2535			
Total	314,2792	74				

Fuente: elaboración propia.

Con base en la tabla XIX se rechaza la hipótesis nula, debido a que en el factor F de Fisher calculada es menor a la F crítica para la aceptabilidad de la mermelada elaborada con la pectina obtenida, con un nivel de confianza de 95 %. Con eso se puede concluir que la diferencia entre ambas mermeladas no es perceptible por los consumidores.

4. RESULTADOS

Tabla X. Rendimiento porcentual de la pectina obtenida en un período de 40 minutos de hidrólisis ácida

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Rendimiento porcentual (%)	Desviación estándar (%)
40	60	2,5	18,89	4,50
		3	31,53	8,57
		4	19,22	1,96
	90	2,5	19,22	1,96
		3	35,25	4,65
		4	22,46	2,46

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Rendimiento porcentual de la pectina obtenida en un período de 60 minutos de hidrólisis ácida

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Rendimiento porcentual (%)	Desviación estándar (%)
60	60	2,5	14,02	4,79
		3	16,77	5,58
		4	12,73	2,58
	90	2,5	13,73	3,17
		3	18,03	4,07
		4	15,52	3,72

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Porcentaje de humedad de la pectina obtenida en un período de 40 minutos de hidrólisis ácida

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Porcentaje de Humedad (%)	Desviación estándar (%)
40	60	2,5	8,86	5,40
		3	6,18	2,48
		4	5,72	3,55
	90	2,5	8,51	2,01
		3	3,59	2,70
		4	3,87	2,92

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Porcentaje de humedad de la pectina obtenida en un período de 60 minutos de hidrólisis ácida

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Porcentaje de Humedad (%)	Desviación estándar (%)
60	60	2,5	2,54	2,70
		3	5,42	3,63
		4	10,29	4,41
	90	2,5	2,78	2,29
		3	4,96	3,67
		4	4,91	2,61

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Porcentaje de ácido galacturónico de la pectina obtenida en un período de 40 minutos de hidrólisis ácida**

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Porcentaje de ácido galacturónico (%)	Desviación estándar (%)
40	60	2,5	35,06	0,02
		3	35,08	0,02
		4	35,12	0,01
	90	2,5	35,07	0,02
		3	35,06	0,03
		4	35,10	0,02

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Porcentaje de ácido galacturónico de la pectina obtenida en un período de 60 minutos de hidrólisis ácida**

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Porcentaje de ácido galacturónico (%)	Desviación estándar (%)
60	60	2,5	35,10	0,01
		3	35,10	0,02
		4	35,11	0,01
	90	2,5	35,08	0,01
		3	35,06	0,03
		4	35,10	0,01

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Porcentaje de metoxilo de la pectina del limón ponderosa obtenida en un período de 40 minutos de hidrólisis ácida**

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Porcentaje de metoxilo (%)	Desviación estándar (%)
40	60	2,5	2,61	0,30
		3	2,33	0,37
		4	1,52	0,21
	90	2,5	2,55	0,41
		3	2,68	0,50
		4	1,82	0,39

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Porcentaje de metoxilo de la pectina del limón ponderosa obtenida en un período de 60 minutos de hidrólisis ácida**

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	pH	Porcentaje de metoxilo (%)	Desviación estándar (%)
60	60	2,5	1,99	0,19
		3	1,89	0,46
		4	1,64	0,09
	90	2,5	2,20	0,24
		3	2,66	0,49
		4	1,94	0,12

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Propiedades fisicoquímicas de las mermeladas de piña con pectina de limón ponderosa y pectina comercial**

Muestra	pH	°Brix	Viscosidad dinámica (cPA)
AA (pectina comercial)	3,6 ± 0,2	65,8 ± 0,7	19 347 ± 677
BB (pectina de limón ponderosa)	3,8 ± 0,2	66,3 ± 1,1	16 000 ± 212

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Análisis sensorial afectivo de mermelada de piña elaborada con pectina comercial y de limón ponderosa**

Tipo de pectina	Muestra	Porcentaje de aceptabilidad
Comercial	AA	83, 36
Limón ponderosa	BB	76, 90
	CC	

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se llevó a cabo el análisis de la pectina obtenida a partir del mesocarpio del limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) por medio de hidrólisis ácida en un rango de pH 2,5 a 4, a diferente temperatura y tiempo. Se evaluó las propiedades fisicoquímicas como su aceptabilidad ante el consumidor al aplicarla en mermelada de piña.

El rendimiento porcentual obtenido a partir del mesocarpio del limón ponderosa se vio influenciado por el pH de la solución utilizada durante la hidrólisis ácida en un período de 40 minutos a 60 y 90 °C. Se presentó un aumento en el rendimiento a pH 3. Se atribuyó el aumento a un período corto y pH medio de extracción, donde se mejoró las condiciones para evitar la degradación de la pectina y la posible desesterificación de los grupos carboxilos que conforman la molécula. Cesó la formación de sales que disminuyeron la calidad de la pectina obtenida. Se varió la temperatura durante la experimentación; mediante un análisis estadístico se consideró que no difiere significativamente el rendimiento porcentual. A pesar de manejar una temperatura mayor a 80 °C no se vio afectado su rendimiento,²² pero sí un oscurecimiento en la coloración del producto de la hidrólisis, con un rendimiento porcentual de pectina mayor al registrado en su experimentación con naranja utilizando dos métodos de extracción.

Al manejar un período de 60 minutos disminuyó el rendimiento un 40 %, y permaneció el máximo a un pH igual a 3. La disminución se pudo generar por la

²² ZEGADA, Vanesa. *Extracción de pectina de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)*. p. 70.

exposición prolongada de las muestras a un calor constante por mayor tiempo, provocando una leve degradación del rendimiento del producto y posible pérdida de la calidad al momento de utilizar todas las moléculas del ácido para la ruptura de los enlaces y la utilización de etanol al 70 % durante la precipitación. Al no realizar una doble hidrólisis y filtrado de la pectina se dio la pérdida de masa durante el proceso.

La variación de los porcentajes de cada una de las repeticiones generadas aumentó al trabajar durante 60 min, por la dificultad de control de la temperatura y pH durante la hidrólisis.

El comportamiento del rendimiento en el rango de pH utilizado influyó las propiedades fisicoquímicas del ácido cítrico. Las más relevante son que es un ácido poliprótico, lo que dificulta la escisión de los enlaces al momento de darse la reacción nucleófila, debido a la disociación en etapas que varió las fracciones de especies que pudieron interactuar con las moléculas de pectina, cada una con un equilibrio. Esto provocó el punto máximo de rendimiento a un pH igual a 3 debido a la cerca de su segunda constante de disociación.

El porcentaje de humedad de la pectina obtenida fue menor respecto al parámetro estándar establecido al haber utilizado una muestra comercial.²³ Esto indicó que la pectina del limón ponderosa tendría una mayor vida de anaquel en comparación con el parámetro estándar. La variación de la humedad con respecto al pH fue significativa, lo que indicó como condiciones óptimas de extracción un período de 60 minutos a pH igual a 2,5 y una temperatura de 60 °C. Así mismo, la extracción a pH igual a 3 generó un mayor rendimiento porcentual

²³ BARRETO, Genisberto; PÚA, Amparo; DE ALBA, Dilan; PIÓN, María. *Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar*. p. 79.

y mantuvo el porcentaje de humedad por debajo de los estándares de una pectina comercial.

Posterior a la inactivación enzimática, el mesocarpio no llevó ningún proceso de secado, por lo que presentó un aumento en la humedad. Los resultados evidenciaron la nula influencia del proceso al momento en el que se evaluó la humedad final de la pectina obtenida.²⁴

El porcentaje de ácido galacturónico se estimó para cada uno de los tratamientos. Mostró una constante de aproximadamente el 35 %, con leves desviaciones al modificar el pH, temperatura o período de hidrólisis. La casi nula variación del parámetro entre los distintos tratamientos indicó que no difieren significativamente al modificar las variables de obtención. A pesar de ello, la pureza de la pectina, que se midió según el porcentaje de ácido galacturónico, fue menor al 65 %, que es el valor mínimo establecido por la FAO y FDA.

La baja calidad pudo atribuirse al ácido cítrico como agente extractor, debido al rango de pH que se manejó durante la hidrólisis, lo que dificultó la ruptura de los enlaces y la sustitución nucleófilica con la adición de agua. Fue provocado por los tres grupos carboxílicos, que al estar en solución produjeron iones citratos que facilitaron la formación de soluciones buffer, que dificultó la disminución de pH por debajo de cada pKa y la sobresaturación de las soluciones aciduladas. Si se hubiese utilizado un ácido monoprótico apto para la industria alimenticia, como el ácido acético —el cual, a pesar de la disociación parcial por ser un ácido débil, produciría iones acetatos que son menos estables que los iones citratos— se facilitaría la acidificación y control de pH.

²⁴ CABARCAS, Esteban; GUERRA, Adrián; HENAO Cesar. *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*. p. 14.

Se utilizó una temperatura mayor a 80 °C. Se atribuyó la degradación de la molécula, que mantuvo un alto rendimiento porcentual, a que pudo estar contaminada con azúcares neutros y gomas. La degradación incrementó la hidrólisis de los grupos carboxílicos, que redujo el porcentaje de ésteres en las cadenas.²⁵

Se caracterizó la pectina como no sensible ante la presencia de iones calcio, la cual se obtuvo al manejar un pH 3 durante el proceso y se debió a que la extracción no fue completa. Al haber trabajado durante la hidrólisis un pH menor a 3 los grupos ácidos minoritarios se encontraron no ionizados, lo que permitió extraer pectina de alto índice de metoxilo y se formó una mezcla de ambas que adquirió las características de la pectina con mayor porcentaje.²⁶

Por otra parte, el porcentaje de metoxilo osciló entre 1,52 y 2,68 al haberse hidrolizado durante 40 minutos, así como a 60 y 90 °C. Los resultados de ambos tratamientos consideraron a la pectina de limón ponderosa como bajo índice de metoxilo, y se clasificó como de tipo convencional. No se afirmó que la pectina obtenida correspondió a dicha categoría debido al porcentaje de ácido galacturónico que dificultó su caracterización e interacción electrostática entre la molécula con los iones de calcio que tuvo en las cadenas vecinas.

La importancia del porcentaje de metoxilo radicó en el proceso de gelificación. Por lo tanto, se obtuvo un porcentaje bajo, lo que indicó que la formación de geles fue lenta. Influyó de manera directa en los productos en los cuales se utilizó y en los componentes que fueron necesarios para el

²⁵ ZEGADA, Vanesa. *Extracción de pectina de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)*. p. 70.

²⁶ MENDOZA, Héctor. *Extracción de pectinas a partir de mucílago contenido en las aguas mieles del beneficiado de café por maceración dinámica y estática*. p. 17.

procesamiento del producto. Condicionó la gelificación no solo con iones calcio, azúcares y otros ácidos presentes en las muestras.²⁷

La baja calidad de la pectina dificultó la aseveración del tipo de índice de metoxilo, y se atribuyó al avanzado estado de maduración de la materia prima que se utilizó. Influyó de manera directa la presencia del compuesto en el mesocarpio del limón ponderosa que indicó el aumento de la formación de azúcar.²⁸

Se hidrolizó el mesocarpio sin previo pulverizado y secado, lo que disminuyó el área de exposición cuando entró en contacto con la solución de ácido cítrico que afectó el rendimiento de la reacción. Durante el proceso se realizó una hidrólisis y precipitación simple, contribuyó a la pérdida de un porcentaje del producto e influyó en el cese de la extracción y presencia de compuestos indeseables.

Al finalizar el secado a 40 °C las muestras se tornaron de un tono caramelo, lo que indicó la formación de azúcares que afectaron las propiedades fisicoquímicas y la presencia de metoxilo, ácido anhídrido galacturónico. Lo anterior se atribuyó a la discontinuidad del proceso de secado, provocó un enfriamiento y calentamiento forzado de las muestras hasta que se alcanzó las 12 horas.

Se realizó una mermelada de piña utilizando la pectina del limón ponderosa y una de procedencia comercial. Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de las mermeladas como el pH y concentración de sólidos solubles, presentó una

²⁷ DEVIA, Jorge. *Proceso para producir pectinas cítricas*. <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/918>.

²⁸ AGUSTÍN, Manuel., et al. Cuajado y Desarrollo de los frutos cítricos. *Citricultura*. p. 130.

variación mínima entre las muestras. A diferencia de la viscosidad, difirió significativamente. La diferencia de viscosidad entre las muestras indicó la dificultad de formación de geles por el producto extraído. Se consideró importante la evaluación de sus propiedades gelificantes.

A partir de las muestras generadas se realizó un análisis sensorial de clasificación afectiva, mediante el cual se evaluó la aceptabilidad del producto por el consumidor. Para el proceso se generó tres muestras, una con pectina comercial y dos con pectina del limón ponderosa. Se estableció una escala de 0 a 10,5 de “me disgustó mucho” a “me gustó mucho”. La mermelada con pectina de tipo comercial obtuvo la puntuación más alta; a pesar de ello, el análisis de varianza de un factor estableció que no existió una diferencia significativa entre ambas. Por lo tanto, a pesar de la baja calidad de la pectina obtenida se utilizó y verificó una aceptabilidad por los consumidores. Se buscó mejorar la calidad, dado la posibilidad de introducción al mercado en la industria alimenticia como aditivo comercial.

CONCLUSIONES

1. El rendimiento de extracción de pectina por hidrólisis ácida del limón ponderosa (*Citrus limon x citrus medica* L. Burm. F.) fue óptimo al acidular a un pH 3 y lograr un 35,25 %.
2. La temperatura no fue una variable significativa con respecto al rendimiento porcentual obtenido en cada tratamiento realizado a 60 y 90 °C, durante ambos periodos de hidrólisis.
3. El porcentaje de humedad dependió directamente del pH y la temperatura de la hidrólisis ácida mostró como parámetros óptimos un pH de 2,5 y temperatura de 60 °C, con un porcentaje de humedad mínimo de 2,54.
4. Las características polipróticas del ácido cítrico y la temperatura que se utilizó durante el proceso provocó que el porcentaje de ácido galacturónico fuera menor al establecido por la FDA, denotando una baja calidad del producto.
5. Las propiedades fisicoquímicas de la mermelada de piña elaborada con pectina comercial y de limón ponderosa no difirieron significativamente, a excepción de su viscosidad dinámica.
6. La viscosidad dinámica de la mermelada de piña elaborada con pectina de limón ponderosa disminuyó un 17,3 % con respecto a la pectina comercial.

7. El análisis sensorial de afectividad de escala hedónica de dos puntos orientada a consumidores reflejó una aceptabilidad del 76,9 % al emplear pectina del limón ponderosa, sin diferir significativamente ante la pectina comercial.

RECOMENDACIONES

1. Emplear diferentes agentes acidulantes monopróticos para el proceso de hidrólisis ácida aptos para la industria alimenticia, tales como el ácido acético.
2. Evaluar el estado de maduración de la materia prima por utilizar durante el proceso en función a la calidad de la pectina, considerándolo una variable independiente.
3. Realizar secado y molienda del mesocarpio de limón ponderosa posterior a la inactivación de enzimas.
4. Realizar doble hidrólisis ácida y precipitación para evaluar el posible aumento de la calidad de la pectina.
5. Evaluar la propiedad de gelificación de la pectina obtenida para establecer las características durante su aplicación a nivel industrial.
6. Evaluar la aplicación de la pectina de limón ponderosa dentro de la industria de alimentos y su aplicación en otras industrias.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUSTÍN, Manuel. *Desarrollo y tamaño del fruto. Citricultura*. España: Editorial Mundi-Prensa, 2003. 422 p.
2. _____. *Efecto del 2, 4-DP sobre el desarrollo y tamaño final del fruto d la mandarina "Clementina Fina" (Citrus reticulata Blanco)*. No. 307 – 308. España: Revista Internacional de Cítricos, Levante Agrícola, 1991. 58 p.
3. _____. et al. *Cuajado y Desarrollo de los frutos cítricos. Citricultura*. España: Editorial Mundi-Prensa, 2000. 130 p.
4. BARAONA, Marcia; SANCHO, Ellen. *Morfología, taxonomía, usos e importancia nutritiva. Fruticultura especial II: Cítricos 1*. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia, 1991. 96 p.
5. BARRETO, Genisberto; PÚA, Amparo; DE ALBA, Dilan; PIÓN, María. *Extracción y caracterización de pectina de mango de azúcar*. Colombia: Universidad del Atlántico, 2017. 85 p.
6. BOATELLA, JOSEP. *Mermeladas y confituras. Química y bioquímica de los alimentos II*. España: Universidad de Barcelona, 2004. 148 p.
7. BOGDANOFF, Nicolás. *Optimización de los procesos de obtención y concentración de pectina de naranja*. Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2015. 142 p.

8. BONNELL, Joseph. *Process for the production of useful products from orange peel*. United States: University of New York, 1985. 94 p.
9. CABARCAS, Esteban., GUERRA, Adrián., y HENAO Cesar. *Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*. Colombia: Universidad de Cartagena de Indias, 2012. 71 p.
10. CALDERÓN, Claudia; CONCUÁ Carlos. *Extracción de pectina de Malus cosmética (manzana) y Daucus carota (zanahoria) para la utilización en suspensiones y emulsiones cosméticas*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 90 p.
11. CAYÓN, Gabriel; VALENCIA, Luis; MORALES, Héctor. *Desarrollo y producción del plátano Dominico Hartón (Musa AAB Simmonds) en diferentes densidades y arreglos de siembra*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2004. 75 p.
12. CERDA, Joan; BURGÍN, Albert. *Preparation and use of a protein-enriched pectin composition*. United States: University of California, 1996. 140 p.
13. Control Técnico y Representaciones. *Hoja de datos de seguridad ácido cítrico anhidro*. [en línea]. <<https://www.ctr.com.mx/pdfcert/Acido%20Citrico%20Anhidro.pdf>>. [Consulta: 25 de enero de 2020].
14. DEVIA, Jorge. *Proceso para producir pectinas cítricas*. [en línea]. <<http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/918>>. [Consulta: 20 de enero de 2020].

15. DURÁN, Verónica; HONORES, María. *Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora Edulis)*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2012. 113 p.
16. ESPINOSA, María. *Evaluación Sensorial de los Alimentos*. Versión digital. Cuba: Editorial Universitaria, 2007. 66 p.
17. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Monographs 7: pectins*. [en línea]. <<http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/monograph7/additive-306-m7.pdf>>. [Consulta: 13 de octubre de 2018].
18. FERREIRA, Salomón. *Caracterización. Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2007. 189 p.
19. Fujian Shan. *Hoja de datos de seguridad ácido cítrico*. [en línea]. <<http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/ACIDO%20CITRICO.pdf>>. [Consulta: 15 de octubre de 2020].
20. Herbstreith & Fox. *The Specialists for Pectins*. [en línea]. <<https://www.yumpu.com/en/document/view/8381024/thespecialists-for-pectin-herbstreith-fox>>. [Consulta: 30 de febrero de 2019].
21. HERNÁNDEZ, Francisco; VILANOVA, Briz. *Mermeladas de Frutas*. España: Publicación Agraria, 1969. 140 p.

22. MENDOZA, Héctor. *Extracción de pectinas a partir de mucílago contenido en las aguas mieles del beneficiado de café por maceración dinámica y estática*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 132 p.
23. MORALES, Silvia. *Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos*. España: Universidad Autónoma de Madrid, 2015. 248 p.
24. MUÑOZ, Alejandra., SÁENZ, Aidé., LÓPEZ, Lluvia., SIFUENTES, Liliana., BARAJAS, Leticia. *Ácido Cítrico: Compuesto Interesante*. México: Universidad Autónoma de Coahuila, 2014. 103 p.
25. REGINALD, Walter. *Jams, Jellies and Preserves. The Chemistry and Technology of Pectin*. United States: Academic Press, 1991. 276 p.
26. RANKES, Manuel. *Conservas. Manual de la industria de los alimentos*. España: Editorial Acribia, 1984. 682 p.
27. ROJAS, Jennifer., PEREA, Aisdé., y Stashenko, Elena. *Vitae. Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos*. Vol. 16. Colombia: Revista de la Facultad De química Farmacéutica, 2009. 110 p.
28. Silvateam S. p. a. *¿Qué es la pectina?* [en línea]. <<https://www.silvateam.com/es/produccion-y-servicios/aditivos-alimentarios/pectina/qu-es-la-pectina.html>>. [Consulta: 10 de enero de 2012].

29. STECHINA, Damian. *Estudio de obtención de pectina aplicando procesos de membrana*. Argentina: Universidad Nacional del Litoral, 2005. 176 p.
30. TORRES, Nelly. *Determinación del potencial nutritivo y nutracéutico de cuatro cultivares de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav)*. Ecuador: Escuela Superior de Politecnica de Chimborazo, 2006. 122 p.
31. University of California Riverside. *Sciences Citrus Variety collection*. California, E. U.: College of Natural and Agricultural. [en línea]. <<http://www.citrusvariety.ucr.edu/citrus/ponderosa.html>>. [Consulta: 30 de febrero de 2019].
32. Zegada, Vanesa. *Extracción de pectina de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)*. Bolivia: Universidad Privada Boliviana, 2015. 117 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Rendimiento porcentual de la pectina extraída durante 40 minutos

T (° C)	pH	No.	m_i (g)	m_f (g)	%R	$\% \bar{R}$	S (%)
60	2,5	1	50,000	8,344	16,688	18,892	4,496
		2		7,342	14,684		
		3		9,201	18,402		
		4		13,240	26,480		
		5		9,103	18,206		
	3	1		11,074	22,148	31,524	8,574
		2		22,657	45,314		
		3		16,158	32,316		
		4		14,937	29,874		
		5		13,983	27,966		
	4	1		9,403	18,806	19,215	1,956
		2		10,384	20,768		
		3		7,993	15,986		
		4		10,256	20,512		
		5		10,002	20,004		
90	2,5	1	10,345	20,690	19,183	5,109	
		2	9,342	18,684			
		3	5,490	10,980			
		4	10,345	20,690			
		5	12,435	24,870			
	3	1	20,452	40,904	35,250	4,648	
		2	17,320	34,640			
		3	16,453	32,906			
		4	19,320	38,640			
		5	14,580	29,160			
	4	1	12,452	24,904	22,456	2,460	
		2	11,322	22,644			
		3	10,945	21,890			
		4	12,113	24,226			
		5	9,309	18,618			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Rendimiento porcentual de la pectina extraída durante 60 minutos

T (°C)	pH	No.	m_i (g)	m_f (g)	%R	$\% \bar{R}$	S (%)
60	2,5	1	50,000	7,384	14,768	14,018	4,788
		2		10,342	20,684		
		3		4,329	8,658		
		4		5,087	10,174		
		5		7,903	15,806		
	3	1		7,963	15,926	16,772	5,577
		2		13,226	26,452		
		3		6,529	13,058		
		4		7,727	15,454		
		5		6,485	12,970		
	4	1		6,172	12,344	12,184	2,583
		2		4,189	8,378		
		3		7,701	15,402		
		4		6,664	13,328		
		5		5,733	11,466		
90	2,5	1	50,000	7,342	14,684	13,733	3,170
		2		9,029	18,058		
		3		5,038	10,076		
		4		7,320	14,640		
		5		5,603	11,206		
	3	1		9,198	18,396	18,031	4,065
		2		7,450	14,900		
		3		10,563	21,126		
		4		11,345	22,690		
		5		6,521	13,042		
	4	1		5,094	10,188	15,518	3,715
		2		6,980	13,960		
		3		8,995	17,990		
		4		7,832	15,664		
		5		9,894	19,788		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Porcentaje de humedad de la pectina extraída durante 40 minutos**

T (°C)	pH	No.	m_i (g)	m_f (g)	m_{H_2O} (g)	%H	$\% \bar{H}$	S (%)
60	2,5	1	1,093	0,918	0,175	16,011	8,856	5,396
		2	1,045	0,923	0,122	11,675		
		3	1,100	0,997	0,103	9,364		
		4	1,031	0,983	0,048	4,656		
		5	1,009	0,983	0,026	2,577		
	3	1	1,031	0,989	0,042	4,074	6,176	2,484
		2	1,001	0,897	0,104	10,390		
		3	1,052	1,003	0,049	4,658		
		4	1,042	0,982	0,060	5,758		
		5	1,000	0,940	0,060	6,000		
	4	1	1,001	0,992	0,009	0,899	5,721	3,554
		2	1,012	0,979	0,033	3,261		
		3	1,003	0,929	0,074	7,378		
		4	1,022	0,923	0,099	9,687		
		5	1,003	0,929	0,074	7,378		
90	2,5	1	1,094	0,999	0,095	8,684	8,511	2,014
		2	1,052	0,988	0,064	6,084		
		3	1,105	0,978	0,127	11,493		
		4	1,089	0,992	0,097	8,907		
		5	1,015	0,940	0,075	7,389		
	3	1	1,032	0,967	0,065	6,298	3,589	2,701
		2	1,033	0,963	0,070	6,776		
		3	1,001	0,984	0,017	1,698		
		4	1,011	0,993	0,018	1,780		
		5	1,006	0,992	0,014	1,392		
	4	1	1,022	0,998	0,024	2,348	3,873	2,920
		2	1,013	0,991	0,022	2,172		
		3	1,037	0,943	0,094	9,065		
		4	1,005	0,976	0,029	2,886		
		5	1,001	0,972	0,029	2,897		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Porcentaje de humedad de la pectina extraída durante 60 minutos**

T (° C)	pH	No.	m_i (g)	m_f (g)	m_{H_2O} (g)	%H	$\% \bar{H}$	S (%)
60	2,5	1	1,027	1,000	0,027	2,629	2,542	2,704
		2	1,005	1,002	0,003	0,299		
		3	1,012	1,010	0,002	0,198		
		4	1,078	1,004	0,074	6,865		
		5	1,103	1,073	0,030	2,720		
	3	1	1,002	0,943	0,059	5,888	5,419	3,634
		2	1,034	0,998	0,036	3,482		
		3	1,000	0,991	0,009	0,900		
		4	1,046	0,982	0,064	6,119		
		5	1,093	0,976	0,117	10,704		
	4	1	1,045	0,929	0,116	11,100	10,291	4,409
		2	1,110	0,919	0,191	17,207		
		3	1,006	0,923	0,083	8,250		
		4	1,031	0,976	0,055	5,335		
		5	1,098	0,993	0,105	9,563		
90	2,5	1	1,042	0,998	0,044	4,223	2,775	2,287
		2	1,000	0,975	0,025	2,500		
		3	1,001	0,997	0,004	0,400		
		4	1,011	1,002	0,009	0,890		
		5	1,006	0,947	0,059	5,865		
	3	1	1,037	0,945	0,092	8,872	4,956	3,667
		2	1,076	0,982	0,094	8,736		
		3	1,001	0,977	0,024	2,398		
		4	1,000	0,991	0,009	0,900		
		5	1,006	0,967	0,039	3,877		
	4	1	1,022	0,997	0,025	2,446	4,908	2,610
		2	1,031	0,992	0,039	3,783		
		3	1,009	0,979	0,030	2,973		
		4	1,089	0,998	0,091	8,356		
		5	1,060	0,986	0,074	6,981		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Porcentaje de ácido galacturónico de la pectina extraída durante 40 minutos**

T (°C)	pH	No.	V_i	V_f	V_{NaOH}	m_{NaOH} (mg)	%AG	$\overline{\%AG}$	S (%)
60	2,5	1	0,00	15,20	15,20	60,795	35,078	35,063	0,016
		2	15,20	33,20	18,00	71,995	35,056		
		3	0,00	16,80	16,80	67,195	35,066		
		4	13,80	29,40	15,60	62,395	35,075		
		5	29,40	49,50	20,10	80,394	35,039		
	3	1	13,10	29,30	16,20	64,795	35,070	35,078	0,019
		2	0,00	13,10	13,10	52,396	35,095		
		3	2,65	21,75	19,10	76,394	35,047		
		4	0,00	13,60	13,60	54,396	35,091		
		5	0,00	14,50	14,50	57,996	35,084		
	4	1	0,00	9,40	9,40	37,597	35,125	35,120	0,011
		2	9,40	21,30	11,90	47,596	35,105		
		3	21,30	30,10	8,80	35,197	35,130		
		4	30,10	39,00	8,90	35,597	35,129		
		5	39,00	49,90	10,90	43,597	35,113		
90	2,5	1	0,00	15,70	15,70	62,795	35,074	35,066	0,022
		2	14,70	29,30	14,60	58,396	35,083		
		3	29,30	45,10	15,80	63,195	35,074		
		4	0,00	16,10	16,10	64,395	35,071		
		5	16,10	37,60	21,50	85,994	35,028		
	3	1	0,00	14,10	14,10	56,396	35,087	35,059	0,026
		2	14,10	29,25	15,15	60,595	35,079		
		3	29,25	50,00	20,75	82,994	35,034		
		4	0,00	16,50	16,50	65,995	35,068		
		5	16,50	37,90	21,40	85,594	35,029		
	4	1	0,00	9,70	9,70	38,797	35,122	35,104	0,021
		2	9,70	18,60	8,90	35,597	35,129		
		3	18,60	32,30	13,70	54,796	35,090		
		4	32,30	45,00	12,70	50,796	35,098		
		5	0,00	14,90	14,90	59,596	35,081		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Porcentaje de ácido galacturónico de la pectina extraída durante 60 minutos**

T (°C)	pH	No.	V_i	V_f	V_{NaOH}	m_{NaOH} (mg)	%AG	$\% \overline{AG}$	S (%)
60	2,5	1	0,00	13,30	13,30	53,196	35,094	35,095	0,010
		2	15,30	29,20	13,90	55,596	35,089		
		3	32,20	46,90	14,70	58,796	35,082		
		4	0,00	11,70	11,70	46,796	35,106		
		5	14,70	26,60	11,90	47,596	35,105		
	3	1	0,00	12,45	12,45	49,796	35,100	35,101	0,024
		2	12,45	20,10	7,65	30,598	35,139		
		3	0,00	12,50	12,50	49,996	35,100		
		4	7,50	23,60	16,10	64,395	35,071		
		5	5,25	18,50	13,25	52,996	35,094		
	4	1	0,00	11,65	11,65	46,597	35,107	35,114	0,005
		2	11,65	21,85	10,20	40,797	35,118		
		3	0,00	10,20	10,20	40,797	35,118		
		4	10,20	21,30	11,10	44,397	35,111		
		5	0,00	10,85	10,85	43,397	35,113		
90	2,5	1	0,00	14,50	14,50	57,996	35,084	35,084	0,012
		2	14,50	29,30	14,80	59,196	35,082		
		3	29,30	41,10	11,80	47,196	35,106		
		4	0,00	15,50	15,50	61,995	35,076		
		5	15,50	31,10	15,60	62,395	35,075		
	3	1	0,00	19,30	19,30	77,194	35,046	35,060	0,026
		2	19,30	31,70	12,40	49,596	35,101		
		3	31,70	50,00	18,30	73,195	35,054		
		4	0,00	16,60	16,60	66,395	35,067		
		5	16,60	37,30	20,70	82,794	35,034		
	4	1	0,00	11,70	11,70	46,796	35,106	35,098	0,006
		2	11,70	24,10	12,40	49,596	35,101		
		3	24,10	36,90	12,80	51,196	35,098		
		4	36,90	49,80	12,90	51,596	35,097		
		5	0,00	13,80	13,80	55,196	35,090		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Porcentaje de metoxilo de la pectina extraída durante 40 minutos**

T (°C)	pH	No.	V_i (mL)	V_f (mL)	V_{NaOH} (mL)	$-OCH_3$ (mg)	$-OCH_3$ (g)	% $-OCH_3$	% $\overline{-OCH_3}$	S (%)
60	2,5	1	0,00	15,20	15,20	23,134	0,023	2,31	2,61	0,30
		2	15,20	33,20	18,00	27,396	0,027	2,74		
		3	0,00	16,80	16,80	25,570	0,026	2,56		
		4	13,80	29,40	15,60	23,743	0,024	2,37		
		5	29,40	49,50	20,10	30,592	0,031	3,06		
	3	1	13,10	29,30	16,20	24,656	0,025	2,47	2,33	0,37
		2	0,00	13,10	13,10	19,938	0,020	1,99		
		3	2,65	21,80	19,10	29,070	0,029	2,91		
		4	0,00	13,60	13,60	20,699	0,021	2,07		
		5	0,00	14,50	14,50	22,069	0,022	2,21		
	4	1	0,00	9,40	9,40	14,307	0,014	1,43	1,52	0,21
		2	9,40	21,30	11,90	18,112	0,018	1,81		
		3	21,30	30,10	8,80	13,394	0,013	1,34		
		4	30,10	39,00	8,90	13,546	0,014	1,35		
		5	39,00	49,90	10,90	16,590	0,017	1,66		
90	2,5	1	0,00	15,70	15,70	23,895	0,024	2,39	2,55	0,41
		2	14,70	29,30	14,60	22,221	0,022	2,22		
		3	29,30	45,10	15,80	24,048	0,024	2,40		
		4	0,00	16,10	16,10	24,504	0,025	2,45		
		5	16,10	37,60	21,50	32,723	0,033	3,27		
	3	1	0,00	14,10	14,10	21,460	0,021	2,15	2,68	0,50
		2	14,10	29,30	15,15	23,058	0,023	2,31		
		3	29,25	50,00	20,75	31,582	0,032	3,16		
		4	0,00	16,50	16,50	25,113	0,025	2,51		
		5	16,50	37,90	21,40	32,571	0,033	3,26		
	4	1	0,00	9,70	9,70	14,763	0,015	1,48	1,82	0,39
		2	9,70	18,60	8,90	13,546	0,014	1,36		
		3	18,60	32,30	13,70	20,851	0,021	2,09		
		4	32,30	45,00	12,70	19,329	0,019	1,93		
		5	0,00	14,90	14,90	22,678	0,023	2,27		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Porcentaje de metoxilo de la pectina extraída durante 60 minutos**

T (°C)	pH	No.	V_i (mL)	V_f (mL)	V_{NaOH} (mL)	$-OCH_3$ (mg)	$-OCH_3$ (g)	%- OCH_3	% - $\overline{OCH_3}$	S (%)
60	2,5	1	0,00	13,30	13,30	20,243	0,020	2,02	1,99	0,19
		2	15,30	29,20	13,90	21,156	0,021	2,12		
		3	32,20	46,90	14,70	22,373	0,022	2,24		
		4	0,00	11,70	11,70	17,807	0,018	1,78		
		5	14,70	26,60	11,90	18,112	0,018	1,81		
	3	1	0,00	12,45	12,45	18,949	0,019	1,89	1,89	0,46
		2	12,45	20,10	7,65	11,643	0,012	1,16		
		3	0,00	12,50	12,50	19,025	0,019	1,90		
		4	7,50	23,60	16,10	24,504	0,025	2,45		
		5	5,25	18,50	13,25	20,167	0,020	2,02		
	4	1	0,00	11,65	11,65	17,731	0,018	1,77	1,64	0,09
		2	11,65	21,85	10,20	15,524	0,016	1,55		
		3	0,00	10,20	10,20	15,524	0,016	1,55		
		4	10,20	21,30	11,10	16,894	0,017	1,69		
		5	0,00	10,85	10,85	16,514	0,017	1,65		
90	2,5	1	0,00	14,50	14,50	22,069	0,022	2,21	2,20	0,24
		2	14,50	29,30	14,80	22,526	0,023	2,25		
		3	29,30	41,10	11,80	17,960	0,018	1,796		
		4	0,00	15,50	15,50	23,591	0,024	2,359		
		5	15,50	31,10	15,60	23,743	0,024	2,374		
	3	1	0,00	19,30	19,30	29,375	0,029	2,937	2,66	0,49
		2	19,30	31,70	12,40	18,873	0,019	1,887		
		3	31,70	50,00	18,30	27,853	0,028	2,785		
		4	0,00	16,60	16,60	25,265	0,025	2,527		
		5	16,60	37,30	20,70	31,505	0,032	3,151		
	4	1	0,00	11,70	11,70	17,807	0,018	1,781	1,94	0,12
		2	11,70	24,10	12,40	18,873	0,019	1,887		
		3	24,10	36,90	12,80	19,482	0,019	1,948		
		4	36,90	49,80	12,90	19,634	0,020	1,963		
		5	0,00	13,80	13,80	21,004	0,021	2,100		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Propiedades fisicoquímicas de las mermeladas de piña con pectina de limón ponderosa y comercial**

Muestra	No.	pH	\overline{pH}	S	°Brix	\overline{Brix}	S	μ (cP)	$\bar{\mu}$ (cPA)	S
AA	1	3,5	3,6	0,2	65,0	65,8	0,7	19520	19347	677
	2	3,6			66,4			18600		
	3	3,8			66,0			19920		
BB	1	3,6	3,8	0,2	65,1	66,3	1,1	16240	16000	212
	2	3,8			67,2			15840		
	3	3,9			66,6			15920		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Análisis sensorial de mermeladas de piña**

No. De panelistas	Muestras		
	AA	BB	CC
1	10,2	7,6	8,9
2	9,2	8,0	7,1
3	8,2	6,4	9,3
4	9,1	9,9	8,5
5	10,2	8,5	9,6
6	9,3	7,6	8,1
7	9,3	7,5	8,8
8	10,5	7,3	7,4
9	6,7	4,6	5,7
10	7,4	10,1	8,6
11	8,1	6,6	9,3
12	2,7	9,4	5,4
13	6,9	3,1	4,7
14	10,3	10,2	10,2
15	10,3	3,3	5,2
16	9,4	6,7	8,4
17	8,2	10,3	4,6

Continuación apéndice 10.

18	4,6	10,1	8,3
19	7,8	9,6	3,2
20	9,1	6,1	5,3
21	10,1	10,2	8,4
22	8,6	8,9	10,4
23	4,3	5,7	7,3
24	9,7	6,7	10,3
25	8,8	10,3	6,7
\bar{X}	8,36	7,788	7,588
Aceptabilidad %	83,60	76,90	
<i>S</i> (%)	2,02	2,17	2,00

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Árbol de limón ponderosa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Limón ponderosa**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Precipitación de pectina después de hidrólisis ácida a pH 3**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Filtración de una muestra de pectina**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Pectina obtenida después de la precipitación**



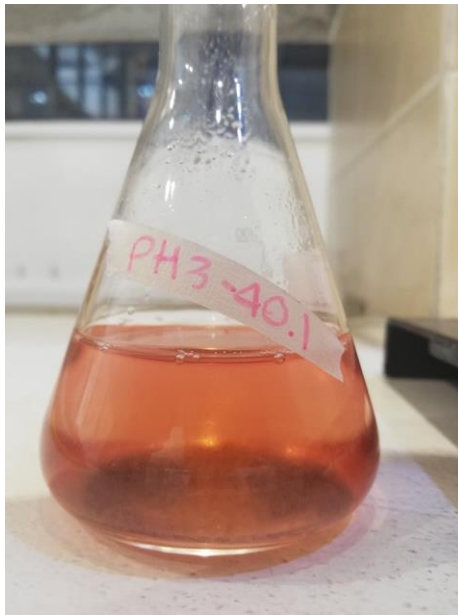
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Pectina seca en horno de convección**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Titulación de muestra de pectina diluida**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Medición de la viscosidad dinámica de la mermelada de piña**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Medición de pH de las mermeladas**



Fuente: elaboración propia.

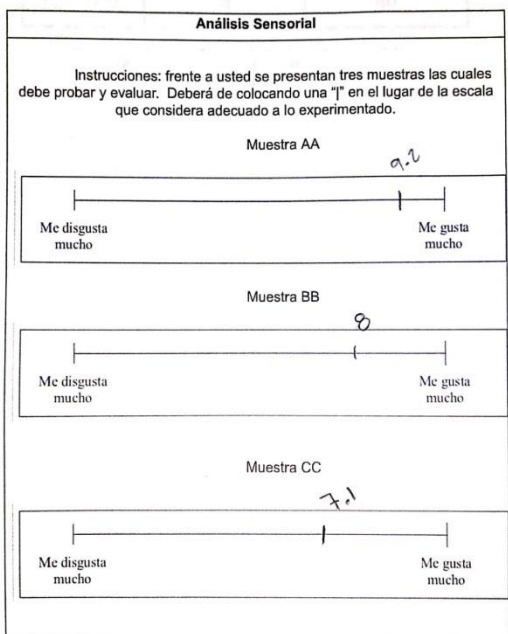
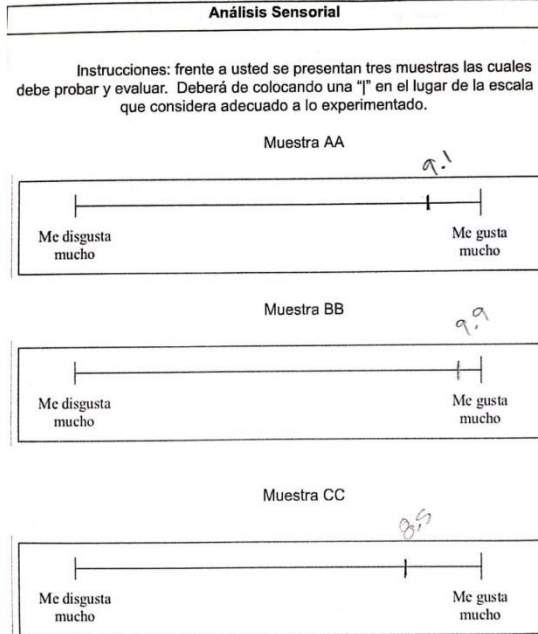
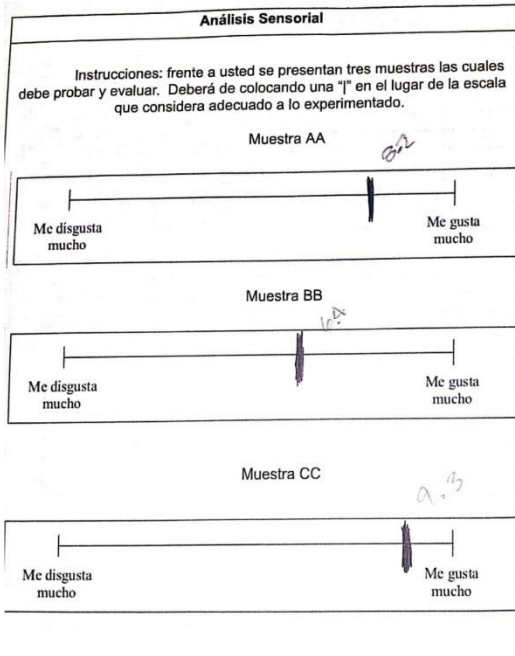
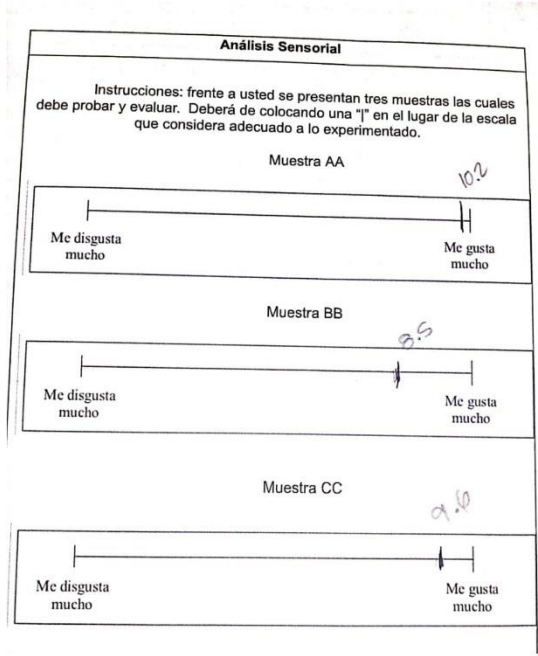
Apéndice 20. **Análisis sensorial de las mermeladas de piña elaboradas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21.

Resultados del análisis sensorial

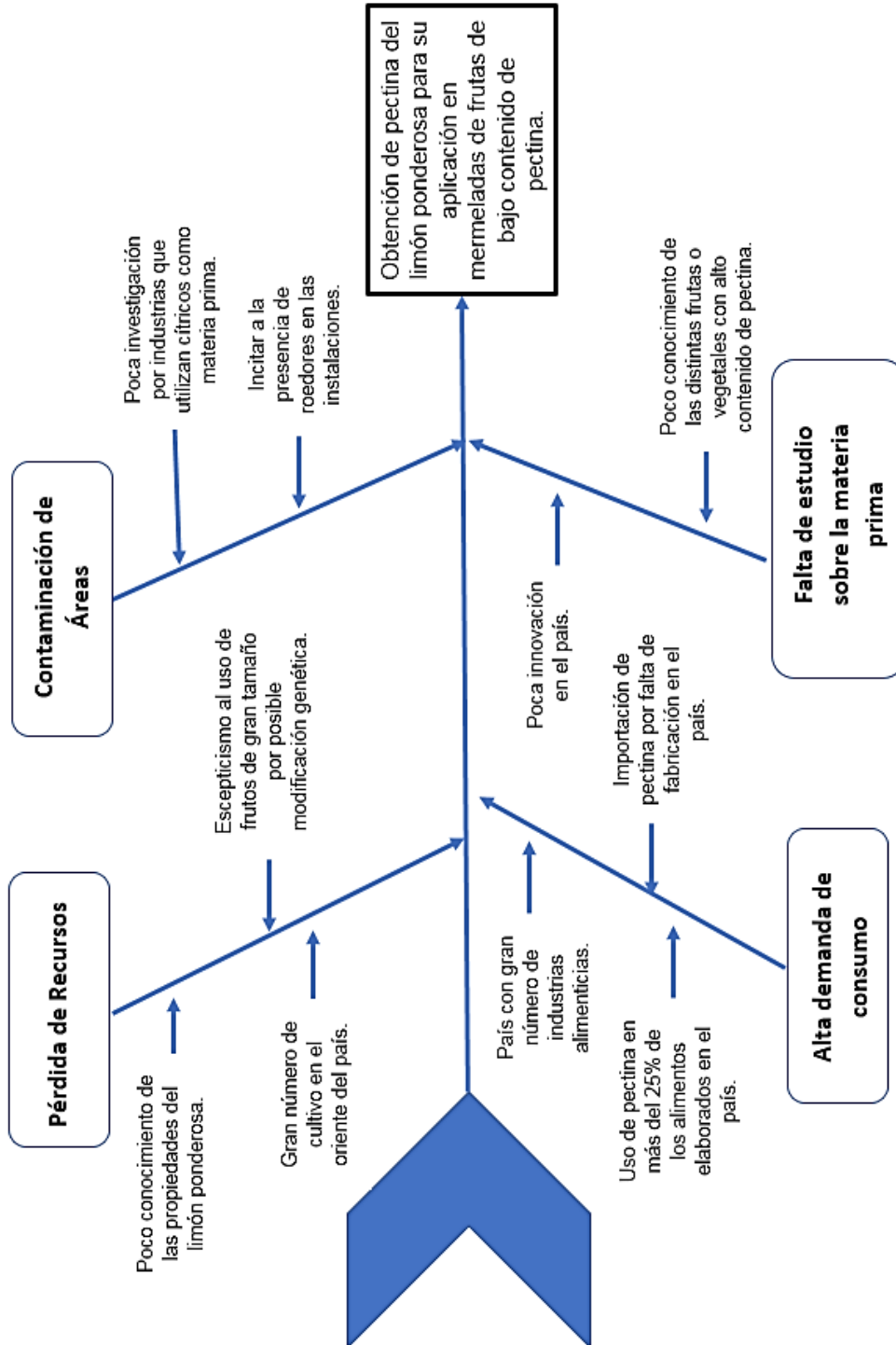


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 22. **Tabla de requisitos académicos**

Carrera	Área	Tema Genérico	Tema Específico	Especificación	Problema a resolver	Hipótesis	Temario tentativo
INGENIERÍA QUÍMICA	Química	Química Inorgánica	Química 4 Análisis Cualitativo	Disoluciones	Para llevar a cabo la extracción de pectina del mesocarpio de la cáscara de limón ponderosa, evaluando diferentes concentraciones del agente extractor el ácido cítrico, así mismo las temperaturas empleadas durante la extracción y el tiempo de extracción. Evaluando el rendimiento, así mismo las propiedades fisicoquímicas y organolépticas para establecer la viabilidad de su incursión en la industria alimenticia.	Es posible obtener pectina a partir del mesocarpio de limón ponderosa (<i>Citrus limon</i> x <i>Citrus medica</i> L. Burm. F.) utilizando extractor ácido cítrico variando su concentración y la temperatura de la reacción a nivel laboratorio.	Obtención de pectina a partir del mesocarpio de limón ponderosa (<i>Citrus limon</i> x <i>Citrus medica</i> L. Burm. F.) por hidrólisis ácida a nivel laboratorio para su evaluación en la aplicación de mermeladas de frutas con bajo contenido de pectina
		Química Orgánica	Análisis Cuantitativo	Solubilidad			
		Química Orgánica	Análisis Cuantitativo	Gravimetría			
		Química Orgánica	Química Orgánica II	Hidrólisis Ácida			
		Operaciones Unitarias	Bioquímica	Polisacáridos			
		Operaciones Unitarias	Transferencia de masa	Balance de masa sin reacción			
		Operaciones Unitarias	Transferencia de energía (IQ3)	Evaporación			
		Operaciones Unitarias	Transferencia de masa (IQ4)	Principios de transferencia de masa			
		Operaciones Unitarias	Transferencia de masa en unidades continuas (IQ5)	Contacto interfacial líquido sólido			
	Área de Especialización	Tecnología de los Alimentos	Estabilizantes	Lixiviación y secado			
	Área de ciencias básicas y complementarias	Estadística 1	Estadística Descriptiva	Pectina			
		Estadística 2	Estadística Inferencial	Análisis de datos			
				Prueba de hipótesis			

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.



Laboratorio de Análisis Físicoquímicos
y Microbiológicos - LAFYM
3a. Calle 6-47, Zona 1
Centro Histórico, Guatemala Ciudad
Tel. 2253-1319
Email: lafymusac@gmail.com

Empresa : WANDA YOC GATICA
N° de la muestra : 10430 (Protocolo firmado)
Temperatura : Refrigeración
Muestra : ALIMENTO

Fecha de toma de la muestra : 02/03/2020 12:00
Fecha de recepción : 03/03/2020 09:53
Número de lote : MUESTRA AA

Captación : Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO	Límites permitidos RTCA
Recuento Coliformes Totales	< 3 NMP/g	No presenta límites
Recuento Coliformes Fecales	< 3 NMP/g	No presenta límites
Aislamiento e Identificación de <i>Escherichia coli</i>	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g

*Métodos de Referencia: BAM: Capítulo 4 - APHA 5ta. ed: Capítulo 9

Conclusión:

La muestra recibida y analizada satisface los criterios de calidad del RTCA.

Nomenclatura utilizada:

UFC/g Unidades Formadoras de Colonia por gramo
NMP/g Número Más Probable por gramo

Licda. Ana Rodríguez García, QB.
Jefatura

Licda. Ana E. Zúñiga García
QUÍMICA BIÓLOGA
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada.
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Fuente: Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico LAFYM.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis microbiológico de mermelada de piña muestra AA

**Laboratorio de Análisis Físicoquímicos
y Microbiológicos - LAFYM**
3a. Calle 6-47, Zona 1
Centro Histórico, Guatemala Ciudad
Tel: 2253-1319
Email: lafymusac@gmail.com



Empresa : WANDA YOC GATICA
N° de la muestra : 10431 (Protocolo firmado)
Temperatura : Refrigeración
Muestra : ALIMENTO
Captación : Captado por personal ajeno a LAFYM en un envase que no es de LAFYM

Fecha de toma de la muestra : 02/03/2020 12:00
Fecha de recepción : 03/03/2020 09:54
Número de lote : MUESTRA BB

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE ALIMENTOS

ANÁLISIS	RESULTADO	Límites permitidos RTCA
Recuento Coliformes Totales	< 3 NMP/g	No presenta límites
Recuento Coliformes Fecales	< 3 NMP/g	No presenta límites
Aislamiento e identificación de <i>Escherichia coli</i>	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g

*Métodos de Referencia: BAM: Capítulo 4 APHA 5ta. ed: Capítulo 9

Conclusión:
La muestra recibida y analizada satisface los criterios de calidad del RTCA.


Nomenclatura utilizada:
UFC/g Unidades Formadoras de Colonia por gramo
NMP/g Número Más Probable por gramo

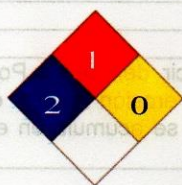
Licda. Ana Rodríguez García, QB.
Jefatura

Licda. Ana E. Rojas García
QUÍMICA BIÓLOGA
COL. 2323

Este Resultado se refiere únicamente a la muestra analizada
El informe de ensayo no debe ser reproducido total o parcialmente, sin la aprobación escrita del Laboratorio.

Anexo 3. Hoja de seguridad del Ácido Cítrico

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	ACIDO CITRICO	Ver. : 2 Agosto 20 de 2009 Página 1 de 5



Pictograma NFPA

1. IDENTIFICACION DEL MATERIAL Y DE LA COMPAÑIA

Nombre Químico:	Acido Cítrico CitruX
Sinónimos:	Acido 2- hidroxí-1, 2, 3-propanotricarboxílico; 1, 2, 3 Acido propanetricarboxílico; Acido beta hidroxitricarboxílico; Acido beta-hidroxitricarbalílico; Hidrocerol.
Formula:	H3C6H5O7
Familia Química:	Ácidos Orgánicos
Registro CAS:	77-92-9
Numero UN:	N.R
Información de la Compañía:	Nombre: Fujian Shan S.A. Dirección: Carretera central de Occidente Km 1.5 Vía Funza, Parque Industrial San Carlos, Etapa I Local 4
Teléfono de Emergencia:	5467000 – Funza


2. COMPOSICION E INFORMACION SOBRE INGREDIENTES

COMPONENTES	
Ingrediente	Acido Cítrico
CAS	77-92-9
Por Ciento	99.0 - 100%
ppm	10 mg/m3
TLV-TWA	No establecido.

3. IDENTIFICACION DE PELIGROS

Inhalación:	Causa irritación del tracto respiratorio con síntomas como tos, falta respiración.
Ingestión:	Causa irritación del tracto gastrointestinal. Los síntomas pueden ser náuseas, vómitos y diarrea. Dosis orales extremadamente altas pueden producir malestar gastrointestinal. En casos de ingestión severa se puede producir deficiencia de calcio en la sangre
Contacto con la Piel:	Causa irritación de la piel. Los síntomas incluyen enrojecimiento, prur

Continuación anexo 3.

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	ACIDO CITRICO	Ver. : 2 Agosto 20 de 2009 Página 2 de 5

	y dolor.
Contacto Ocular:	Altamente irritante; puede ser también abrasivo.
Efectos Crónicos	El contacto continuo y prolongado puede producir dermatitis. Por ingestión crónica o de grandes dosis produce erosión dental e irritación del sistema digestivo. El ácido cítrico no se acumula en el cuerpo

4.PRIMEROS AUXILIOS


Inhalación:	Trasladar al aire fresco. Si no respira administrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministrar oxígeno. Mantener la víctima abrigada en reposo. Buscar atención médica inmediatamente.
Ingestión:	Lavar la boca con agua. Si está consciente, suministrar abundante agua. No inducir el vómito. Buscar atención médica inmediatamente.
Contacto con la Piel:	Retirar la ropa y calzado contaminados. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón, mínimo durante 15 minutos. Si la irritación persiste repetir el lavado. Buscar atención médica inmediatamente.
Contacto Ocular:	Lavar con abundante agua durante 30 minutos sin interrupción levantando y separando los párpados ocasionalmente. Cubrir con gasa esterilizada llevar al oftalmólogo.

5.MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Peligros de incendio y/o explosión:	El producto no enciende por sí mismo pero puede arder con dificultad. Bajo ciertas condiciones una nube de polvo de este material puede explotar por chispa o llama.
Productos de la combustión:	Monóxido de carbono y dióxido de carbono
Precauciones para evitar incendio y/o explosión:	Conectar a tierra los recipientes para evitar descargas electrostáticas. Los equipos eléctricos, de iluminación y ventilación deben ser a prueba de explosiones.
Procedimientos en caso de incendio y/o explosión:	Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Extinguir el fuego con un agente adecuado.
Agentes extintores del fuego:	Polvo químico seco, agua, espuma o dióxido carbono

6.MEDIDAS PARA EL CONTROL DE DERRAMES Y FUGAS

Continuación anexo 3.

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	ACIDO CITRICO	<i>Ver. : 2</i> <i>Agosto 20 de 2009</i> <i>Página 3 de 5</i>

Evacuar o aislar el área de peligro. Eliminar toda fuente de ignición. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Ventile el área. No permita que caiga en fuentes de agua y alcantarillas. Detenga la descarga si es posible. Contenga con arena o tierra. No permita la contaminación del agua. Evite el contacto con el sólido y el polvo y minimice su dispersión en el aire, colóquelo en recipientes.


7.MANUPULACION Y ALMACENAMIENTO

Almacenamiento:	Lugares ventilados, frescos y secos separados de las zonas de trabajo. Lejos de fuentes de calor e ignición (y de la acción directa de los rayos solares). Separado de materiales incompatibles. Rotular los recipientes adecuadamente. Conectar a tierra los recipientes para evitar descargas electrostáticas. Los equipos eléctricos, de iluminación y ventilación deben ser a prueba de explosiones.
Manipulación:	Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer en donde está el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de usar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente.

8.CONTROL A LA EXPOSICION / PROTECCION PERSONAL

Controles de Ingeniería:	Ventilación local y general, para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional. Debe disponerse de duchas y estaciones Lavajos.
Equipos de Protección Personal	
Respiratoria:	Equipo de respiración auto contenido
Cutánea:	Usen vestimenta protectora impermeables, incluyendo botas, guantes, ropa de laboratorio, delantal o monos para evitar contacto con la piel.
Ojos y Cara:	Utilice gafas protectoras contra productos químicos y/o un protector de cara completo donde el contacto sea posible. Mantener en el de trabajo un área instalación destinada al lavado, remojo y enjuague rápido de los ojos.
Otro Tipo de Protección requerida:	Guantes de caucho, gafas de seguridad, overol y respirac con filtro para polvo

Continuación anexo 3.

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	ACIDO CITRICO	Ver. : 2
		Agosto 20 de 2009
		Página 4 de 5

Peso Molecular:	192,13 (Anhídrido) 210,14 (Monohidratado)
Punto de Fusión	153 –154 C (Anhídrido)
Punto de Ebullición	Descompone a 175C
Densidad Relativa	1,665 a 20 C (Anhídrido)
Solubilidad en Agua	Muy soluble (59,2 g/100g a 20C)
Solubilidad en Líquidos	Etolanol, Acetato de amilo, Dietil eter.
pH	(2,2) (Solución 1%); 1,7 (Solución 10%); 1,2 (Solución 30%)

10.REACTIVIDAD Y ESTABILIDAD

Estabilidad:	Estable en condiciones ordinarias de uso y almacenamiento Productos Peligrosos de Descomposición: Cuando se calienta hasta la descomposición puede formar dióxido y monóxido de carbono.
Incompatibilidades:	Oxidante Fuerte.
Condiciones a evitar:	Calor, llamas, fuentes de ignición, polvo e incompatibles.
Polimerización Peligrosa	No Ocurrirá.

11.INFORMACION TOXICOLÓGICA


DL50 (oral, rata) = 11.7 g/kg DL50 (oral, ratón) = 5 g/kg LDLo (oral, conejo) = 7 g/kg Irritante para los ojos y el tracto respiratorio. Probablemente no carcinógeno, no es teratógeno, no tiene efectos embriotóxicos, mutágenicos y probablemente no tiene toxicidad reproductiva.
--

12.INFORMACION ECOLÓGICA

No se reportan datos de toxicidad acuática. Prevenga la contaminación de fuentes y corrientes de agua.
--

13.CONSIDERACIONES PARA DISPOSICION

Continuación anexo 3.

	Hoja de Seguridad	FA 03 01
	ACIDO CITRICO	<i>Ver. : 2</i>
		<i>Agosto 20 de 2009</i>
		<i>Página 5 de 5</i>

Lo que no pueda salvarse para recuperar o reciclar debe manejarse en una instalación de eliminación de residuos, aprobada y apropiada.
 El procesamiento, utilización o contaminación de este producto puede cambiar las opciones de administración de residuos. Las regulaciones de eliminación local o estatal pueden diferir de las regulaciones de eliminación federal.
 Deseche el envase y el contenido no usado de acuerdo con los requerimientos federales, estatales y locales.

14. INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

Clase Riesgo:	
Numero UN:	N.R.

15. INFORMACION REGULATORIA

Esta hoja ha estado preparada según los criterios del peligro de las regulaciones controladas de los productos (CPR) y la hoja contiene toda la información requerida por el CPR.

16. OTRA INFORMACION

Clasificación NFPA	
Salud:	2
Inflamabilidad:	1
Reactividad:	0
Otros:	Producto de uso alimenticio

La Información y recomendaciones que aparecen en esta hoja de seguridad de materiales so a nuestro entender enteramente confiables. Los Consumidores y clientes deberán realizar su propia investigación y verificación sobre el uso seguro de este material

Este documento es propiedad exclusiva de FUJIAN SHAN S.A.

Fuente: FUJIAN SHAN S. A. *Hoja de datos de seguridad ácido cítrico.*

<http://io.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/ACIDO%20CITRICO.pdf>. Consulta: 15 de octubre de 2020.