

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“GRADO DE ESTERIFICACIÓN Y RENDIMIENTO DE PECTINA
UTILIZANDO CÁSCARAS DE TUNA (*Opuntia ficus Indica.*) EXTRAÍDA A
DIFERENTES TIEMPOS Y TEMPERATURAS”**

T E S I S

**PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADA POR LA BACHILLER:
JANETH ELIZABETH CORREA TACULÍ**

**ASESORA:
Ing. MSc. FANNY LUCILA RIMARACHÍN CHÁVEZ**

CAJAMARCA – PERÚ

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los seis días del mes de junio del año dos mil veintitrés, se reunieron en el ambiente 2H - 204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 188-2023-FCA-UNC, de fecha 14 de marzo del 2023**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"GRADO DE ESTERIFICACIÓN Y RENDIMIENTO DE PECTINA UTILIZANDO CÁSCARAS DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) EXTRAÍDA A DIFERENTES TIEMPOS Y TEMPERATURAS"**, realizada por la Bachiller **JANETH ELIZABETH CORREA TACULÍ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las doce horas y cuarenta minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de diecisiete (17); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**.

A las trece horas y treinta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Dr. José Gerardo Salhuana Granados
PRESIDENTE

Ing. Mtr. Max Edwin Sangay Terrones
SECRETARIO

M. V. M. Sc. Rodolfo Raúl Orejuela Chirinos
VOCAL

Ing. M. Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez
ASESOR

Dedicatoria

*La presente Tesis está dedicada a **DIOS**, por acompañarme y guiarme a lo largo de mi vida, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y mi alegría en mis momentos de éxito y porque gracias a él he logrado concluir mi carrera profesional.*

*A mis padres: **Juan Correa Segovia** y **Lorenza Taculí Llovera**, por estar siempre a mi lado cuando más los necesito, en los buenos y malos momentos de mi vida, por mostrarme en cada instante su amor incondicional base fundamental para mí, por levantarme y sostenerme sin importar el camino; por enseñarme que todo lo que me proponga lo puedo lograr con fe, perseverancia, esfuerzo, paciencia y optimismo sin importar el tiempo ni el espacio.*

A mis hermanos Aurora, Miguel, Denis y mi sobrino Ángel por su apoyo e incentivo de seguir siempre adelante para lograr mis objetivos, confiando siempre en mí.

A mi novio Royer Bazán Gil por su cariño, por su apoyo incondicional y palabras de aliento.

Janeth Elizabeth.

Agradecimientos

Dios, quién me guía por el buen camino, y me da las fuerzas para seguir adelante ante los problemas que se me presentan, enseñándome a nunca perder la fe.

A **mis padres y hermanos**, por ser el núcleo fundamental de mi vida, por todo su amor, esfuerzo, valores, dedicación, paciencia, apoyo, confianza y consejos haciendo de mí una mejor persona cada día.

A **mis queridos maestros** por su orientación y guía en estos cinco años de carrera profesional; gracias por sus relevantes aportes, críticas, comentarios y sugerencias durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial a la **Universidad Nacional de Cajamarca**, y a todas las personas que laboran en ella, gracias por brindarme sus instalaciones para realizar la presente investigación.

A **Ing. M.Sc. Fanny Lucila Rimarachín Chávez**, asesora de tesis, por su ayuda, orientación y sugerencias durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Y a todos aquellos que de una u otra forma colaboraron en mi formación profesional apoyando decididamente e impulsando la culminación de esta investigación, sepan que los quiero mucho y nunca los olvidaré.

Janet Elizabeth

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	2
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivo general	3
1.3.1. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación de la investigación.....	4
1.5. Hipótesis de la investigación.....	5
CAPÍTULO II	6
II.REVISIÓN DE LA LITERATURA	6
2.1. Antecedentes de la investigación	6
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. La tuna.....	7
2.2.1.1. Características de la tuna.....	8
2.2.1.2. Composición química de la tuna	9
2.2.2. Pectinas	10
2.2.2.1. Clasificación de las pectinas.....	11
2.2.2.2. Métodos de extracción de pectinas.....	13
2.2.2.3. Características de las pectinas	14
2.2.2.4. Aplicaciones de la pectina en la Industria Alimentaria	16
2.3. Definición de términos básicos	17
CAPÍTULO III.....	19
III.MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	19
3.2. Materia prima para elaboración de pectina:	19
3.3. Materia prima para elaboración de mermelada:	19

3.4.	Materiales y equipos de laboratorio	20
3.5.	Métodos de análisis	22
3.5.1.	Análisis físicoquímico.....	22
3.5.2.	Análisis sensorial.....	23
3.6.	Metodología experimental.....	24
3.6.1.	Tipo de investigación	24
3.6.2.	Variable independiente.....	24
3.6.3.	Variable dependiente.....	24
3.7.	Definiciones operacionales	25
3.8.	Unidad de análisis, población y muestra de estudio.....	26
3.8.1.	Unidad de análisis	26
3.8.2.	Población.....	26
3.8.3.	Muestra.....	26
3.9.	Instrumentos de colecta de datos.....	26
3.10.	Descripción de operaciones de proceso para extracción de pectina.....	28
3.11.	Procedimiento para la elaboración de mermelada de durazno aplicando la “Pectina obtenida de cáscaras de tuna”	36
3.12.	Factores de estudio.....	38
3.13.	Diseño experimental.....	38
3.14.	Modelo estadístico.....	38
3.15.	Matriz de tratamientos:.....	39
3.16.	Análisis estadístico.....	40
3.17.	Combinación de tratamientos.....	41
3.18.	Trabajo de gabinete	41
CAPÍTULO IV		42
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN		42
4.1.	Caraterización físicoquímica de pectinas (cáscaras de tuna) extraídas a diferentes tiempos y temperaturas	42
4.1.1.	Resultados de grado de esterificación	43
4.1.2.	Resultados de porcentaje de rendimiento.....	46

4.1.3. Resultados de sólidos solubles	47
4.1.4. Resultados de contenido de humedad	48
4.2. Resultados sensoriales (Aplicación de pectina obtenida de cáscaras de tuna en mermelada de durazno)	49
4.3. Resultados estadísticos.....	52
CAPÍTULO V	61
V.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	61
5.1. Conclusiones:	61
5.2. Recomendaciones:.....	62
CAPÍTULO VI	63
VI.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
CAPÍTULO VII.....	70
VII.ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	9
<i>Composición química de la parte comestible de los frutos de tuna</i>	9
Tabla 2.....	24
<i>Variable independiente</i>	24
Tabla 3.....	24
<i>Variable dependiente</i>	24
Tabla 4.....	25
<i>Parámetros para extracción de pectinas de cáscaras de tuna</i>	25
Tabla 5.....	25
<i>Variables de respuesta</i>	25
Tabla 6.....	26
<i>Instrumentos de colecta de datos</i>	26
Tabla 7.....	38
<i>Factores de estudio</i>	38
Tabla 8.....	39
<i>Matriz de tratamientos</i>	39
Tabla 9.....	40
<i>Análisis de varianza generalizado para un factorial de dos factores (A, B) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones</i>	40
Tabla 10.....	41
<i>Combinación de tratamientos</i>	41
Tabla 11.....	42
<i>Caracterización físicoquímica de pectinas (cáscaras de tuna) extraídas a diferentes tiempos y temperaturas</i>	42
Tabla 12.....	44
<i>Comparación entre el tipo de pectinas y su grado de metilación/grado de amidación</i>	44
Tabla 13.....	52
<i>Análisis de varianza para la variable color</i>	52

Tabla 14.....	52
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura, confianza de 95%</i>	52
Tabla 15.....	53
<i>Análisis de varianza para la variable olor</i>	53
Tabla 16.....	53
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura, confianza de 95%</i>	53
Tabla 17.....	54
<i>Análisis de varianza para la variable sabor</i>	54
Tabla 18.....	54
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura de extraccion, confianza de 95%</i>	54
Tabla 19.....	55
<i>Análisis de varianza para la variable consistencia</i>	55
Tabla 20.....	55
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura de extracción, confianza de 95%</i>	55
Tabla 21.....	56
<i>Prueba de HSD tukey para la interacción (Tiempo y Temperatura de Extracción de pectina) confianza 95%</i>	56
Tabla 22.....	56
<i>Análisis de varianza para la variable grado de esterificación</i>	56
Tabla 23.....	57
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor tiempo de esterificación, confianza de 95%</i>	57
Tabla 24.....	57
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura de esterificación, confianza de 95%</i>	57
Tabla 25.....	58
<i>Análisis de varianza para la variable rendimiento</i>	58
Tabla 26.....	58
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor tiempo de extracción, confianza de 95%</i>	58
Tabla 27.....	59
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura de extracción, confianza de 95%</i>	59

Tabla 28.....	59
<i>Análisis de varianza la variable sólidos solubles</i>	<i>59</i>
Tabla 29.....	60
<i>Análisis de varianza para la variable humedad.....</i>	<i>60</i>
Tabla 30.....	60
<i>Pruebas de HSD tukey para el factor tiempo de extracción, confianza de 95%.....</i>	<i>60</i>
Tabla 31.....	71
<i>Especificaciones oficiales de pureza para pectinas comerciales</i>	<i>71</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	8
<i>Variedades de tuna (Opuntia ficus Indica.).....</i>	8
Figura 2.....	11
<i>Estructura química de la pectina.....</i>	11
Figura 3.....	12
<i>Pectinas de alto grado de metoxilación</i>	12
Figura 4.....	12
<i>Pectinas de bajo grado de metoxilación.....</i>	12
Figura 5.....	13
<i>Pectinas amídicas de bajo grado de metoxilación</i>	13
Figura 6.....	14
<i>Cadena de ácido galacturónico.....</i>	14
Figura 7.....	27
<i>Diagrama de flujo para obtención de pectina – cáscaras de tuna.....</i>	27
Figura 8.....	28
<i>Recepción y recolección de materia prima (cáscaras de tuna).....</i>	28
Figura 9.....	28
<i>Selección de materia prima (cáscaras de tuna)</i>	28
Figura 10.....	29
<i>Pesado de materia prima (cáscaras de tuna).....</i>	29
Figura 11.....	29
<i>Llavado y desinfectado</i>	29
Figura 12.....	30
<i>Trozado de cáscaras</i>	30
Figura 13.....	30
<i>Inactivación enzimática</i>	30

Figura 14.....	31
<i>Licuado de cáscaras</i>	31
Figura 15.....	31
<i>Extracción ácida de pectina</i>	31
Figura 16.....	32
<i>Filtrado de pectina</i>	32
Figura 17.....	32
<i>Concentrado de pectina</i>	32
Figura 18.....	33
<i>Precipitado de pectina con alcohol.</i>	33
Figura 19.....	33
<i>Secado de muestras en estufa</i>	33
Figura 20.....	34
<i>Molido de pectina</i>	34
Figura 21.....	34
<i>Envasado de pectina</i>	34
Figura 22.....	35
<i>Flujograma de elaboración de mermelada de durazno aplicando la “Pectina obtenida de cáscaras de tuna”</i>	35
Figura 23.....	43
<i>Grado de esterificación para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas</i>	43
Figura 24.....	46
<i>Porcentaje de rendimiento para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas</i>	46
Figura 25.....	47
<i>Sólidos solubles para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas</i>	47

Figura 26.....	48
<i>Contenido de humedad para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas</i>	<i>48</i>
Figura 27.....	49
<i>Evaluación sensorial de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna, extraída a (T1: 40 minutos x 70°C).....</i>	<i>49</i>
Figura 28.....	50
<i>Evaluación sensorial de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna, extraída a (T2:50 minutos x 80°C)</i>	<i>50</i>
Figura 29.....	51
<i>Evaluación sensorial de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna, extraída a (T3: 60 minutos x 90°C).....</i>	<i>51</i>
Figura 30.....	72
<i>Análisis fisicoquímico en muestras de pectina</i>	<i>72</i>
Figura 31.....	74
<i>Evaluación de muestras de pectina – panel sensorial semientrenado</i>	<i>74</i>

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias. El objetivo principal fue determinar el grado de esterificación y rendimiento en pectinas utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) extraídas a diferentes tiempos y temperaturas, mediante hidrólisis ácida. El mayor grado de esterificación fue (74.8) a (60 minutos x 90°C), el menor grado de esterificación fue (40.3) a (50 minutos x 70°C) la categoría de las pectinas obtenidas fueron de “Alto Metoxilo” todas con porcentaje de esterificación (> 50 %). El mayor porcentaje de rendimiento fue (3.17%) a (50 minutos x 70°C) y el menor porcentaje de rendimiento fue (1.64%) a (60 minutos x 90°C). El valor promedio de sólidos solubles fue de (4.5 °Brix). El mayor contenido de humedad fue (9.65%) a (50 minutos x 70°C) y el menor contenido de humedad fue (6.51%) a (60 minutos x 80°C). La muestra de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna con mayor aceptabilidad sensorial fue la que se elaboró con pectina extraída a (60 minutos x 90°C) la cual obtuvo un puntaje de 471. Los resultados estadísticos fueron altamente significativos puesto que sus valores son menores ($p < 0.05$) para grado de esterificación en tiempo un valor de (0.004) y en temperatura (0.006); para porcentaje de rendimiento en tiempo (0.008) y en temperatura (0.009).

Palabras clave: cáscaras de tuna, pectina, extracción, tiempo, temperatura, grado de esterificación, alto metoxilo, rendimiento, sólidos solubles, humedad, fisicoquímico, sensorial.

ABSTRACT

The research work was carried out in the laboratories of the Professional School of Engineering in Food Industries. The main objective was to determine the degree of esterification and pectin yield using prickly pear shells (*Opuntia ficus Indica*) extracted at different times and temperatures, by acid hydrolysis. The highest degree of esterification was (74.8) at (60 minutes x 90°C), the lowest degree of esterification was (40.3) at (50 minutes x 70°C) the category of pectins obtained were "High Methoxyl" all with percentage of esterification (> 50 %). The highest yield percentage was (3.17%) at (50 minutes x 70°C) and the lowest yield percentage was (1.64%) at (60 minutes x 90°C). The average value of soluble solids was (4.5 °Brix). The highest moisture content was (9.65%) at (50 minutes x 70°C) and the lowest moisture content was (6.51%) at (60 minutes x 80°C). The peach jam sample made with prickly pear pectin with the highest sensory acceptability was the one made with extracted pectin at (60 minutes x 90°C), which obtained a score of 471. The statistical results were highly significant. since their values are lower ($p < 0.05$) for the degree of esterification in time a value of (0.004) and in temperature (0.006); for percentage of performance in time (0.008) and in temperature (0.009).

Keywords: prickly pear shells, pectin, extraction, time, temperature, degree of esterification, high methoxy, yield, soluble solids, moisture, physicochemical, sensory.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

La pectina es un polisacárido que absorbe gran cantidad de agua y es un producto tecnológicamente funcional de interés para la industria de alimentos en el desarrollo de productos debido a que sus propiedades reológicas son apropiadas para la elaboración de jaleas, mermeladas, pulás, salsas, sopas, cremas instantáneas, entre otros, aportando así a la textura y consistencia (D'Addosio et al., 2005; Seixas et al., 2014).

Algunas características importantes que definen la calidad de las pectinas son: 1) El grado de metoxilación, 2) El poder gelificante o grado de esterificación y 3) El porcentaje de rendimiento (Liew et al., 2014).

Las tunas son frutos que se han desarrollado de manera silvestre y por cultivo humano desde hace miles de años como alimento, medicina y forraje; pero su tiempo de vida útil es corto, se consume principalmente fresca y sus pocos productos derivados se procesan artesanalmente, su aprovechamiento por la industria alimentaria comprende la obtención de diversos productos como: fruta fresca, jarabes de fruta, tunas deshidratadas, jugos; pero un alto porcentaje de la cosecha se pierde al no poder ser almacenada en refrigeración por periodos prolongados, ya que la cáscara sufre daños que hacen poco deseable el fruto al consumidor (Valencia, 2010).

En el procesamiento industrial de los alimentos y, en especial de las frutas, siempre se generan residuos que en la mayoría de los casos se convierten en un problema sanitario para quien los produce y para toda la comunidad en la medida en que son cantidades proporcionalmente grandes, inestables, permiten la proliferación de insectos, hongos, bacterias y olores por descomposición, los cuales pueden convertirse en fuente de contaminación para los alimentos y para los consumidores.

La presente investigación busca aprovechar en su totalidad al fruto tuna centrándonos en el uso de descarte de esta materia prima (cáscaras), para la obtención de pectina creando un coproducto, incrementando así los beneficios de producción agrícola de tuna, la parte ambiental y factores económicos permitiendo conocer el proceso de elaboración de pectina, los beneficios en los sectores productores de tuna y pectina ampliando así la gama de su uso. Por ello el objetivo fundamental de la presente investigación fue determinar el grado de esterificación y rendimiento en pectinas

obtenidas utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) extraídas a diferentes tiempos y temperaturas.

1.1. Problema de investigación

En el Perú y en la región Cajamarca, la pectina es usada comúnmente para espesar o gelificar las mermeladas de fruta, pulpas de frutas, néctares, yogures, las conservas de frutas y compotas que se venden en el mercado nacional o que se exportan , pero la falta de industrias que elaboren pectina en la región obligan a los empresarios a comprar pectina en otras ciudades como por ejemplo (Trujillo o Lima) o importarlas del extranjero, generando así un aumento en los costos, además la falta de industrias que elaboren pectina en la región obstaculiza también el aprovechamiento de las cáscaras de descarte u otros recursos que se generan en la región y que serían materia prima potencial para la producción de pectina. (López et al., 2011).

Esta investigación buscó desarrollar una alternativa de fabricación de un subproducto a base de las cáscaras descartadas y convertirlas en pectina, aprovechando que en la región la cantidad de cáscaras de tuna que son desechables es grande, estableciendo así un punto de partida para la generación de una nueva industria en la región que traiga consigo más oportunidades de trabajo y desarrollo, mejorar la calidad de vida de las personas que estarían inmersas en esta nueva industria.

Reutilizando los residuos de las frutas en mención (cáscaras de tuna) se disminuye la contaminación ambiental y asimismo se contribuye al desarrollo de la ciencia de los alimentos. El objetivo principal de ésta investigación es determinar el grado de esterificación y rendimiento de pectina obtenida utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) extraída a diferentes tiempos y temperaturas.

1.2. Formulación del problema

¿Será posible determinar cuál es el grado de esterificación y rendimiento de pectina utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus indica*) extraída a diferentes tiempos y temperaturas?

1.3. Objetivo general

- Determinar el grado de esterificación y rendimiento de pectina obtenida de cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) extraída a diferentes tiempos y temperaturas.

1.3.1. Objetivos específicos

- Determinar el grado de esterificación de pectina extraída a diferentes tiempos y temperaturas utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*).
- Determinar el rendimiento de pectina extraída a diferentes tiempos y temperaturas utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*).
- Determinar los sólidos solubles de pectina extraída a diferentes tiempos y temperaturas utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*).
- Determinar el contenido de humedad de pectina extraída a diferentes tiempos y temperaturas utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*).
- Evaluar sensorialmente la pectina extraída de cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) aplicada en la elaboración de una mermelada de durazno.
- Contribuir al aprovechamiento de las cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) como residuo, generando una economía circular, mitigando aspectos ambientales.

1.4. Justificación de la investigación

En el país se cultivan múltiples especies de tunas de las cuales sus residuos no son aprovechados favorablemente. Hoy en día, en Perú la extracción y venta de pectinas representa un mercado inexplorado, es así como, ni siquiera existen indicadores que reflejen la situación de la producción y comercialización de las pectinas en el país.

La obtención de pectinas a partir de fuentes no tradicionales, por su importancia, como son las plantas nativas o propias de una región para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y la mitigación de aspectos ambientales. Además, el mercado mundial de pectinas está creciendo considerablemente por lo tanto muchos frutos o sus respectivos desperdicios constituyen una oportunidad para la extracción de pectinas comerciales.

Por otra parte, muchos países de la región han marcado su posición como importadores de pectinas y están encaminando a investigaciones de nuevas plantas vegetales que buscan promover y desarrollar su propia producción y comercialización interna. (Kliemann et al., 2009; Liew et al., 2014; Freitas de Oliveira et al., 2016).

La pectina es una sustancia de origen vegetal que está presente en las plantas y frutas cítricas; cuya característica principal es la gelificación natural. Las pectinas son hidrocoloides que en soluciones acuosa presentan propiedades espesantes, estabilizantes y sobre todo gelificantes; son insolubles en alcoholes y disolventes orgánicos corrientes, y son parcialmente solubles en jarabes ricos en azúcares, usados comúnmente en la industria como un aditivo. (Kliemann et al., 2009).

1.5. Hipótesis de la investigación

Es posible determinar el grado de esterificación y rendimiento de pectina utilizando cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) extraída a diferentes tiempos y temperaturas.

CAPÍTULO II

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Antonio (2007) en su investigación “Extracción y caracterización reológicas de polisacáridos tipo pectina de la cáscara de tuna (*Opuntia spp*), afirma lo siguiente: “Se determina un rendimiento de 0.18% por cada gramo de materia seca. “Este antecedente nos sirvió para dejar sentada una base de que se puede extraer pectina de las cáscaras de tuna”

Ávila (2009) en su investigación: “Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de Maracuyá (*Passiflora edulis*) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia” afirmó que se puede evidenciar que se puede extraer pectina por el método ácido, con un pH de 3, utilizando ácido cítrico. “Sirvió como fuente para realizar el tipo de extracción acuosa en medio ácido de la pectina de cáscara de tuna”.

Quinatúa (2013) en su investigación: “Extracción y caracterización de la pectina en tres especies del género *vasconcellea*, nativas del sur del Ecuador” concluye que el rendimiento más alto en pectina fue 13.11% a pH de 1.2 y 60°C. “Este antecedente nos sirvió para comparar el rendimiento de pectinas”

Vasconcellea Heilbornii var. *Gualel* (2005) señala que la pectina extraída a pH de 1.5 y 70°C tiene un grado de esterificación del (93.93%), AGT (55.61%). “Esta investigación sirvió para realizar una caracterización química de esta pectina y realizar una comparación con las características de la pectina comercial”.

Bustamante (2019) en su investigación “*Extracción de pectina de paleta de tuna (Opuntia ficus Indica)*” donde a 80° y 30 min es mayor el rendimiento de pectina que a 90° y 60 min. Debido que, a mayor temperatura de hidrolisis, influyen negativamente en los resultados finales, puesto que la pectina se desnaturaliza y sus características de gelificación, dadas por los valores de grado de esterificación disminuyen. “Este antecedente nos sirvió para comparar el rendimiento de pectinas”

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La tuna

La planta de tuna es una especie vegetal originaria de América latina, que pertenece a la familia de las cactáceas. Una de las primeras plantas que se cultivó en América pre colombina ha sido la tuna, de esta manera va constituyendo un alimento de primer orden debido a su agradable sabor y por abundante fructificación y nutricidad (Benzon, 2008).

Esta especie tiene como características principales almacenar abundantes cantidades de agua y compuestos hidrocarbonados y otros, que los utiliza como reservas alimenticias. Se desarrolla en zonas de donde las precipitaciones son muy bajas, bajo climas semidesérticos, conjuntamente con otras representantes de la familia cactáceas y crecen en suelos en los que no pueden desarrollar fácilmente otras plantas o terrenos que son aprovechados en su totalidad (Valencia, 2012).

El género *Opuntia* se creó en 1764 y en el 1753 describe la especie *cactus ficus indica* L.; al crearse el género *Opuntia* se inicia la reclasificación de aquellas especies de cladodios aplanados y sin espinas y de frutas comestibles, posteriormente fueron describiéndose nuevas especies con frutos con espinas. En el Perú se registraron cinco especies que corresponden al nombre de tuna (Linco, 2010).

La tuna es una planta muy fibrosa, alargada y gruesa, Crece superficialmente y se introduce con mucha facilidad en las grietas características. Muy útil para la conservación de los suelos. Presenta gran adaptación a las condiciones del suelo y del clima que normalmente vive. Cuando existe agua disponible, se estimula el desarrollo de la planta y la velocidad de absorción del agua y nutrientes es sorprendentemente alta (Granados y Castañeda, 2000).

La tuna prospera en lugares donde la temperatura media oscila entre 16 y 26°C, su fruto llamado tuna es una baya ovoidal carnosa, de 5 a 10 cm de largo por 4 a 8 cm de diámetro y su color puede ser amarillo, anaranjado, rojo o purpúreo. La pulpa del fruto presenta numerosas semillas y es jugosa, mucilaginoso, azucarada muy aromática y muy nutritiva, mientras que su epidermis es parecida a la de los cladodios (Orestes, 2009).

La tuna está formada por las siguientes partes, el tallo, la flor, el fruto (tuna) y los cladodios o pencas. Vulgarmente, los cladodios se conocen como pencas o palas.

Su interior es gelatinoso, y contiene principalmente agua y sustancias nutritivas. Sobre ambas caras del cladodio se presentan las llamadas yemas, flores y raíces, áreas según las condiciones ambientales (Granados y Castañeda, 2000).

Figura 1

Variedades de tuna (Opuntia ficus Indica.)



Nota: La imagen (Figura 1) se muestra las variedades y estructura de la tuna, tomada de (Granados y Castañeda, 2000). La tuna es una fruta saludable y resiliente al cambio climático, sino también posee un gran potencial para la industria alimentaria, dado que permite producir helados, mermelada, néctar, jugo, yogurt, infusiones, pectinas entre otros, sus frutos poseen una capacidad “Antioxidante”, en especial el mucílago de las pencas de la tuna inhibe la producción de los radicales libres que causan el envejecimiento prematuro del organismo humano.

2.2.1.1. Características de la tuna

Planta suculenta y carnosa, el tallo y las ramas están constituidas por pencas o cladodios con apariencia de cojines ovoides y aplanados, unidos unos a otros pudiendo en conjunto alcanzar hasta 5 metros de altura y 4 metros de diámetro. En el Perú las variedades más usuales desarrollan portes de aproximadamente 1.5 metros de altura, Una planta adulta produce un promedio de 200 frutos/año, infiriéndose que, en una hectárea bien manejada, con una densidad de 1000 plantas/Ha puede brindar una producción de 200 000 frutos/ha, a los 2 o 3 años de edad. Una de las características del fruto tuna es que se adapta bien a las condiciones restringidas de las diferentes regiones áridas y semiáridas del planeta, tanto en lo referido a recursos hídricos, suelos y aspectos medioambientales, contiene componentes bioactivos y funcionales que han llamado la atención de los investigadores, debido a los diferentes efectos benéficos que estos tienen en la salud, siendo utilizada en tratamientos contra la gastritis, hiperglucemia, arteroesclerosis y diabetes (Orellana, 2011).

2.2.1.2. Composición química de la tuna

El valor calórico de su pulpa varía entre 31-50 kcal/100g, comparable con el de otros frutos como la pera, la manzana, el durazno y la naranja. El contenido total de aminoácidos libres (257.24 mg/100 g) es mayor que el promedio de otros frutos. La tuna presenta un alto nivel de ácido ascórbico que puede llegar a valores de 40 mg/100 g contenido mayor que el de la manzana, la pera, la uva y el plátano (Reyes, Aguirre y Hernández. 2005).

La importancia de este fruto radica en su valor nutritivo ya que es superior al de otras frutas en varios de sus componentes: como por ejemplo 100g de la parte comestible posee 58 a 66 unidades calóricas, 3g de proteínas, 0,20g de grasas, 15,50g de carbohidratos, 30g de calcio, 28g de fósforo y vitaminas (caroteno, niacina, tiamina, riboflavina y ácido ascórbico). Es empleado directamente en la alimentación o para la fabricación de mermeladas y jaleas, pectinas, néctar, tunas en almíbar, alcoholes, vinos y colorantes, etc (Reyes, Aguirre y Hernández. 2005).

Tabla 1

Composición química de la parte comestible de los frutos de tuna

Componentes	Contenido de 100 g de parte comestible
Calorías	31%
Humedad	90.60%
Carbohidratos	8g
Ceniza	0,4g
Fibra	0,5g
Proteína	0,5g
Calcio	22mg
Fosforo	7mg
Hierro	0,3mg
Niacina	0,3mg
Riboflavina	0.02mg
Tiamina	0.001mg
Vitamina C	30mg

Nota: En la tabla (1) podemos observar los componentes químicos de la tuna y sus respectivas equivalencias, referencias tomadas de (Reyes, Aguirre y Hernández. 2005) donde el mayor valor lo tiene la humedad con 90.60% y el menor valor lo tiene la tiamina con 0.001mg.

2.2.2. Pectinas

La pectina fue descubierta en 1790 cuando Vauquelin encontró en primer lugar una sustancia soluble de los zumos de fruta. El científico francés Braconnot continuó el trabajo de Vauquelin y encontró que "una sustancia ampliamente disponible de plantas vivas y ya observada en el pasado, tenía propiedades gelificantes cuando se le añadía ácido a su solución". La llamó "pectina ácida" del griego "pectos" que significa sólido, coagulado. En 1825, el químico francés Henri Braconnot aisló las pectinas por primera vez, reconociendo su papel en esos productos. La producción comercial de pectinas comenzó en 1908 en Alemania, a partir de los restos de la fabricación de zumo de manzana. Actualmente se obtienen de los restos de la extracción de zumo de manzana y, sobre todo, de los de la industria de los zumos de cítricos. La pectina de manzana suele ser de un color algo más oscuro, debido a las reacciones de pardeamiento enzimático. La pectina se extrae con agua caliente acidificada, precipitándola de la disolución con etanol o con una sal de aluminio (Belitz et al. 2012).

Las pectinas están formadas por un extenso grupo de heteropolisacáridos y que esta constituidos por ácidos D galacturónico unidos por enlaces glucosídicos. Estas pectinas se encuentran los frutos inmaduros y en tejidos suaves (Dergal, 2006).

Son sustancias que se encuentran en los tejidos blandos de las frutas. Tienen la propiedad de formar gelatinas en presencia de azúcares, calor y un medio ácido débil. Se utiliza para espesar algunas mermeladas y otras conservas (Durand, 2008).

La pectina es muy abundante en todo el reino vegetal. Se obtiene comercialmente de las pieles de los cítricos y del bagazo de las manzanas, que las contiene, respectivamente, en un 20-40 % y 10-20 % de la materia seca. La extracción se lleva a cabo a pH 1,5-3 y 60-100 °C. Este proceso debe controlarse cuidadosamente a fin de evitar la hidrólisis de los enlaces glicosídicos y éster según (Belitz et al. 2012).

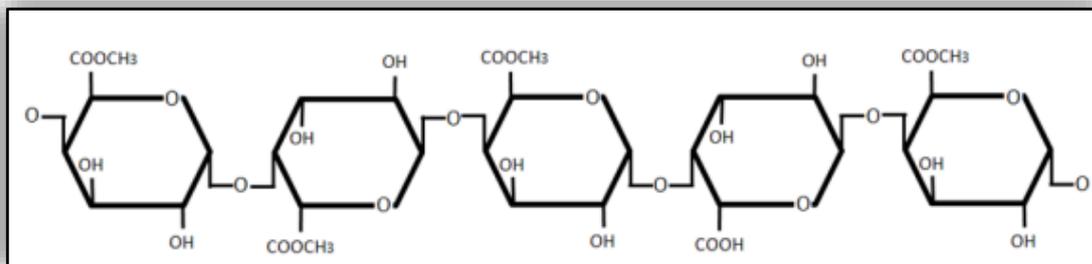
En 1972 la Sociedad Química Americana, estableció la nomenclatura para nombrar a este tipo de sustancias, en la cual se determinó el concepto "pectina" a los ácidos pépticos capaces de formar un gel estándar, cuando sean mezclados en proporciones similares de fruta, azúcar, agua, o ácidos (Ferreira, 2009).

Las pectinas que se encuentran presentes en la naturaleza son heteropolisacáridos, pertenecientes al segundo grupo de polisacáridos, están ubicados en las paredes de celulares de tejidos jóvenes de las frutas y vegetales, con la característica

de regular la capacidad del equilibrio del agua, están formadas por ácido poligalacturónico y que está parcialmente esterificado con metanol (Herbstreith, 2001).

Figura 2

Estructura química de la pectina



Nota: En la figura (2) se observa la estructura química de la pectina; imagen tomada de (Dergal, 2006) cabe recalcar que la pectina es una fibra presente de manera natural en las frutas, funciona como espesante natural, que al unirse con el azúcar y los ácidos de la fruta forma geles y es usada por la industria alimentaria por sus propiedades gelatinizantes, espesantes y estabilizantes.

2.2.2.1. Clasificación de las pectinas

Las sustancias que presentan características son polímeros pertenecientes al ácido galacturónico, se diferencian entre ellas por los grupos metilo que están esterificando los grupos carboxilos (Ferreira, 2009).

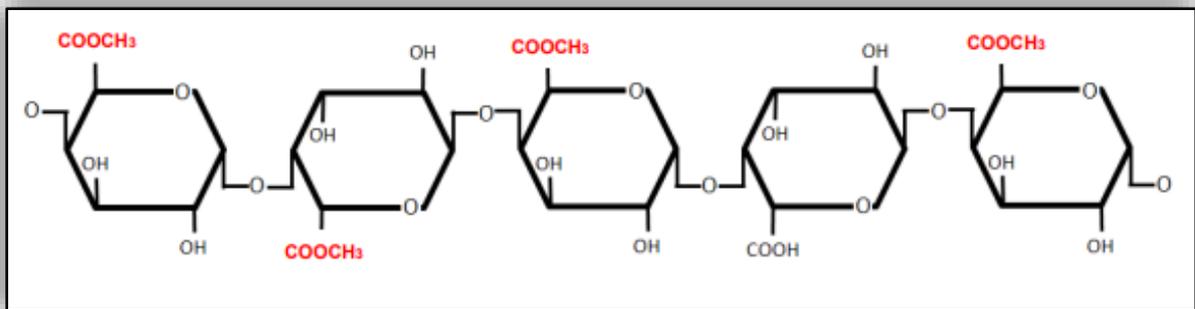
Según Herbstreith (2001) menciona que las pectinas se dividen en tres grupos según sus propiedades de gelificación, y que se encuentran asociadas con el grado de esterificación metílica. Entre ellas citamos las siguientes:

a. Pectinas de alto metoxilo

Este tipo de pectinas gelifican en medio ácido, en un rango de pH que va desde 2.0 hasta 3.5, con sólidos solubles mayores al 55%, el grado de esterificación que debe presentar esta pectina debe de ser superior al 50%, tiene la característica de ser térmicamente reversibles, este tipo de pectina se la puede encontrar mayor mente en la cascara de los cítricos especial mente en la naranja valencia (Cubero, 2002).

Figura 3

Pectinas de alto grado de metoxilación



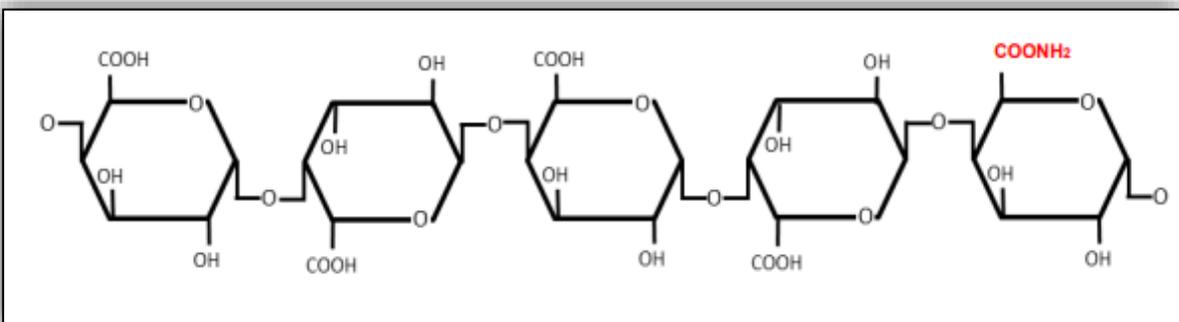
Nota: En la figura (3) se observa a las pectinas de alto grado de metoxilación; imagen tomada de (Dergal, 2006).

b. Pectinas de bajo metoxilo

Estas pectinas de bajo metoxilo gelifican en un pH que se establece en 1 - 3 medio ácido y 6 - 7 en medio básico, la cantidad de sólidos solubles deben contener iones calcio para que la pectina forme geles (Galeas, 2015).

Figura 4

Pectinas de bajo grado de metoxilación



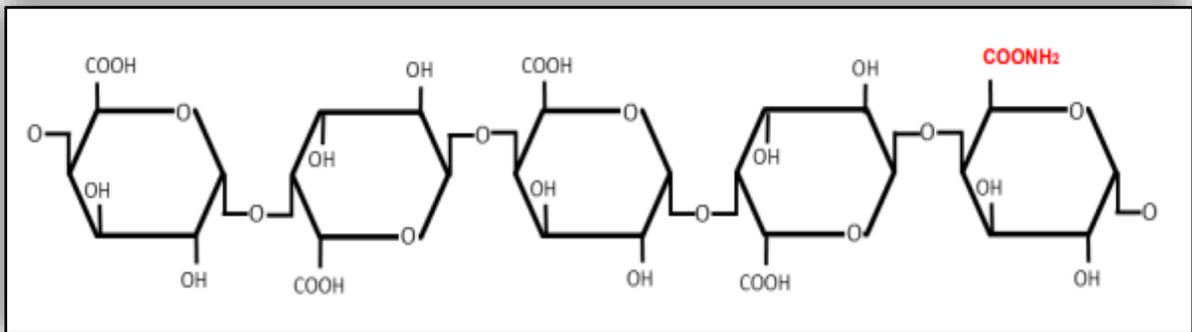
Nota: En la figura (4) se presenta la imagen de pectinas de bajo grado de metoxilación, imagen tomada de (Dergal, 2006).

c. Pectinas amídicas de bajo metoxilo

Son pectinas obtenidas a partir de otras pectinas de alto metoxilo mediante una des esterificación alcalina mediante la utilización de amoniac, el grado de amidación y el grado de metoxilo fijan el poder gelificante de la pectina (Cubero, 2002).

Figura 5

Pectinas amídicas de bajo grado de metoxilación



Nota: En la figura (5) se presentan a las pectinas amídicas de bajo grado de metoxilación, referencia tomada de (Dergal, 2006).

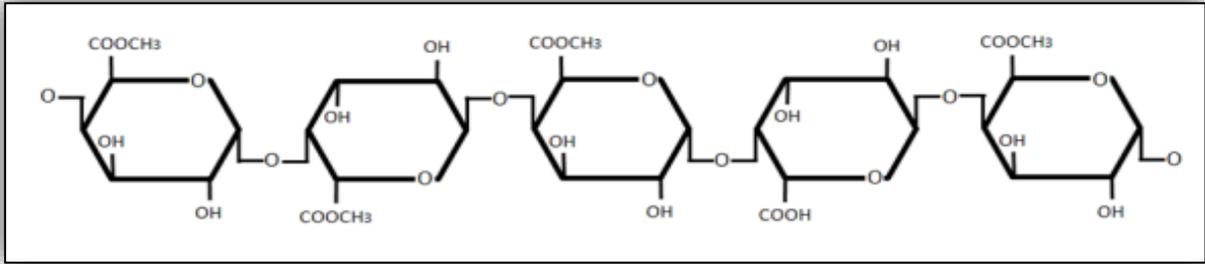
2.2.2.2. Metodos de extracción de pectinas

Existen varios métodos patentados que sirven para la obtención de pectina:

- Aplicación de presión y calentamiento por microondas (Fishman, 2000). Se obtiene pectinas de alto peso molecular y buena viscosidad.
- Conversión de materia prima en una sal cálcica de la pectina en un medio líquido, luego se la seca, se obtiene un pectinato (Glahn, 2001).
- Hidrólisis ácida, consiste en adicionar ácido y radicales OH al tejido vegetal para obtener pectinas con alto grado de metoxilo (Ehrlich, 1997).
- Intercambio iónico, se hacer reaccionar en suspensión acuosa, fibra comestible con una solución alcalino férrico se separa la suspensión resultante, quedando una pasta sólida y rica en pectina (Galeas, 2015).

Figura 6

Cadena de ácido galacturónico



Nota: en la figura (6) podemos observar la distribución de la cadena de ácido galacturónico, imagen tomada de (Dergal, 2006).

2.2.2.3. Características de las pectinas

a. Viscosidad:

La viscosidad de la pectina de alto metoxilo depende: el grado de esterificación, longitud de la molécula, pH y temperatura y se incrementa conforme va alcanzando a la temperatura de ebullición (Molina, 2016).

a. Gelificación:

Los geles están formados por moléculas poliméricas, que forman una red de gran tamaño que esta interconectada entre sí, en un líquido (Flory, 2003). Las propiedades de la pectina resulta de las interacciones entre soluto y solvente. La influencia del agua como solvente, la naturaleza y magnitud de las fuerzas intermoleculares que mantienen la integridad del gel permiten tener una gran capacidad de retención de agua esterificada (Molina, 2016).

b. pH:

La alta alcalinidad-baja acidez acompaña a un pH alto, mientras que, a una baja alcalinidad, alta acidez lo hace con un pH bajo (Molina, 2016).

c. Acidez titulable:

Para medir la acidez de la solución de la pectina con el hidróxido de sodio, se debe realizar con las condiciones y medidas exactas, para evitar la saponificación de los grupos éster presentes en la pectina, afectando los valores de lectura de la acidez titulable por un valor más alto (Molina, 2016).

d. Solubilidad:

Las partes de agua en que la pectina debe de ser soluble se establece en 20, para formar una solución coloidal, insoluble en alcohol y con fácil fluides (Taibe, 2011). La solubilidad aumenta proporcionalmente al grado de esterificación y cuando decrece el peso molecular (Badui, 2009).

e. Reología:

Las velocidades de deformación de la pectina son similares a las de otras sustancias parecidas como el C.M.C, y tienen el mismo comportamiento en su fluidez y viscosidad aparente. La pectina en gel presenta las propiedades de los líquidos viscosos y las propiedades de los sólidos elásticos, es por eso que las propiedades reológicas se expresan en términos elásticos o fuerzas newtonianas. (Badui, 2009).

f. Estructura química:

La pectina pertenece a la familia de los polisacáridos, y su función principal es el de mantener unidos a los tejidos vegetales, la pectina se encuentra en mayor parte en los cítricos, específicamente en el mesocarpio. Está formado por un éster metilado en la cadena del ácido poligalacturónico que está conformada de 300 a 1000 unidades del ácido galacturónico, y que se encuentran unidos por enlace α 1-4, en el gráfico 6 podemos apreciar su estructura. El galactano y arabinogalactano son generalmente componentes minoritarios, aunque en algunos casos, por ejemplo, en cotiledones de judía pueden ser abundantes. El primero, está formado por una cadena lineal de galactosas unidas por enlaces β (1-4). El segundo, consta de una cadena principal de galactosa β (1-4) con cortas cadenas laterales de arabinosa α (1-5) unidas al carbono 3 de la galactosa (Badui, 2009).

g. Grado de esterificación:

El grado de esterificación está ligado al grupo carboxilo de las cadenas de pectina de los residuos de ácido urónico con etanol etílico (Vargas, 2002). La firmeza de los tejidos vegetales y la cohesión, está relacionado con el grado de metilación. Si se reduce el grado de metilación aumenta la cohesión en los tejidos que han sido calentados (Molina, 2016).

h. Características sensoriales:

La pectina en polvo de buena calidad presenta características como: el color que es blanco amarillento y olor neutro, la característica de la pectina líquida se presenta con una textura viscosa o mucilaginosa (Badui, 2009).

i. Características fisiológicas:

La característica principal de la pectina es la retención de agua, además, hace que el tránsito intestinal sea más lento en el caso de presentar diarrea, los efectos benéficos de la pectina en pacientes que presentan diabetes, son muy favorables para las personas que dependen de la insulina, debido a que la captación de glucosa por el aparato digestivo se hace más lenta, y por ende no suben los niveles de azúcar en la sangre, el único efecto indeseable de la pectina, es que impiden la absorción de metales que son necesarios para que el organismo tenga un buen funcionamiento (Badui, 2009).

2.2.2.4. Aplicaciones de la pectina en la industria alimentaria

- a) Jaleas:** La pectina de alto metoxilo son utilizadas para la elaboración de jaleas o mermeladas que tengan un contenido mayor al 60% de sólidos solubles. Se debe de seleccionar una pectina que se adapte a una menor cantidad de sólidos solubles y a la solubilidad del calcio (Molina, 2016).
- b) Industria láctea:** En la industria láctea se utiliza la pectina de alto metoxilo para la estabilización de bebidas lácteas acidificadas, productos basados en trigo y soya, para evitar que las proteínas se precipiten (sinéresis) (Molina, 2016).
- c) Bebidas y gelatinas:** Las pectinas amidadas de bajo metoxilo sirven para la elaboración de jugos elaborados con pulpa de fruta, la cual le brinda la textura al jugo, y gomas de sabores con la consistencia elástica (Molina, 2016).

2.3. Definición de términos básicos

- **Ácido D-galacturónico:**

Monosacárido de 6 átomos de carbono correspondiente a la forma oxidada de la D-galactosa, por lo que también pertenece al grupo de los azúcares ácidos. Es el principal componente de las pectinas (Devia, 2002).

- **Extracción:**

La extracción con disolventes es la técnica de separación de un compuesto a partir de una mezcla sólida o líquida, aprovechando las diferencias de solubilidad de los componentes de la mezcla en un disolvente adecuado. Constituye una de las técnicas de separación de compuestos más utilizada en el laboratorio químico (Vargas, 2002).

- **Grado de esterificación:**

Proceso por el cual se sintetiza un éster. Un éster es un compuesto derivado formalmente de la reacción química entre un ácido carboxílico y un alcohol (León y Riveros. 2014).

- **Hidrólisis:**

Formación de un ácido y una base a partir de una sal por interacción con el agua (Maldonado y Salazar 2010).

- **Metoxilo:**

Grupo funcional o radical consistente en un grupo metilo unido a un oxígeno (López, 2013).

- **Pectina:**

Sustancias pécticas de composición variable, cuyo componente principal son los ácidos pectínicos solubles en agua, de contenido de metoxilo y grado de neutralización variables, forman geles con azúcares y ácidos en condiciones adecuadas. Generalmente, presentan entre 60 a 70% de sus grupos carboxilos esterificados con metanol (Gamboa, 2009).

- **Protopectina:**

Sustancias insolubles en agua, las cuales se encuentran en las plantas y, bajo hidrólisis restringida, producen ácidos (Guidi y Arandia 2010).

- **Rendimiento:**

El rendimiento en química es la cantidad de producto que obtenemos a partir de los reactivos de una reacción. Este puede ser rendimiento real (también denominado rendimiento experimental) o teórico (Gamboa, 2009).

- **Tiempo:**

El tiempo es una magnitud física que se utiliza para medir la simultaneidad, duración y separación de todo acontecimiento dado en un proceso (León y Riveros. 2014).

- **Temperatura:**

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de los átomos o moléculas en el sistema. La ley del cero de la termodinámica dice que no se transfiere calor entre dos objetos en equilibrio térmico; por lo tanto, están a la misma temperatura (Maldonado y Salazar 2010).

- **Tuna:**

La tuna es un fruto jugoso y dulce proveniente de una variedad de cactus, florece en los suelos semidesérticos (Orestes, 2009).

CAPÍTULO III

III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

Los análisis de esta investigación en su mayoría se realizaron en los Laboratorios de; Tecnología de Frutas y Hortalizas, ubicados en el primer piso de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Coordenadas: 7°10'01" S 78°29'44" O /-7°166943, -78.495427.

Altitud: 2750 msnm

Temperatura: 15°C

Precipitación: 11%

Humedad: 73%

Algunos de los análisis restantes se realizaron en los laboratorios de pastos y forrajes de Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicado en Carretera Baños del Inca, Región Cajamarca

Coordenadas: 78°27'07"

Laltitud Sur: 07°09'56"

Altitud: 2667 msnm.

Precipitación: 500 – 1000 mm/año.

3.2. Materia prima para elaboración de pectina:

- 13.500 kg de cáscaras de las tres variedades más comunes de tunas (blanca, morada y amarilla), las cuales fueron recolectadas de (mercados, centros productivos y establecimientos de comercialización de dichos frutos).

3.3. Materia prima para elaboración de mermelada:

- 6 kg Durazno
- 2 kg Azúcar rubia
- Ácido cítrico
- Conservante (sorbato de potasio)

3.4. Materiales y equipos de laboratorio

a. Materiales para la extracción de pectina

- Buretas
- Mortero
- Pinzas para buretas y pinzas doble nuez
- Soporte universal
- Tubos de ensayo
- Embudos de separación
- Espátula
- Papel filtro
- Jarras 1 L
- Guantes quirúrgicos
- Licuadora industrial
- Molino manual
- Envases para muestras
- Cuchillos
- Ollas
- Coladores de malla fina
- Envases de polietileno
- Pipetas graduadas de 1 y 10 ml
- Pipetas volumétricas de 11 ml
- Picetas con agua destilada
- Varilla de agitación
- Vidrio reloj
- Crisol
- Cristalizadores
- Vasos para precipitados
- Mechero
- Papel aluminio

b. Equipos para el análisis físicoquímico

- Deshidratador de alimentos (marca SAFARI SKU - 22114)
- Refractómetro (marca ATAGO)
- Medidor de pH de bolsillo HI98103 (marca SOLITEC)

c. Reactivos químicos

- $C_6H_8O_7$ (Ácido cítrico)
- $NaOH$ (Hidróxido de sodio) al 1% N
- $C_{20}H_{14}O_4$ (Fenolftaleína)
- C_2H_5OH (Alcohol) al 95%
- HCl (Ácido clorhídrico) al 0.25% N
- H_2SO_4 (Ácido sulfúrico) al 5% N

d. Materiales para el análisis sensorial

- Servilletas
- Palitos de madera (chupete)
- Galletitas de soda
- Cucharitas
- Lapiceros
- Agua de mesa
- Vasitos descartables
- Lapiceros indelebles para rotular las muestras
- Cartillas o encuesta de evaluación

e. Otros materiales

- Laptop
- Memoria USB
- Celular
- Cronómetro
- Cámara fotográfica
- Hojas bond
- Lapiceros
- Cuaderno de apuntes

3.5. Métodos de análisis

3.5.1. Análisis físicoquímico

a. Grado de esterificación:

Este cálculo se basó en el método de valoración de Schultz y Schweiger, (Rojas *et al.*, 2008):

- Disolvimos 1 g de pectina deshidratada y aforamos con agua destilada libre de CO_2 en un balón aforado hasta 100 mL para obtener una solución de pectina al: 1 %.
- Se tomó una alícuota de 10.0 ml de la disolución anterior.
- Se procedió a valorar con NaOH 0.1 N usando 3 gotas de fenolftaleína como indicador (valoración A).
- Se colocó 20.0 ml de NaOH 0,5 N a la solución anterior, se dejó reposar por 30 min, con el fin de esterificar la pectina.
- Se añadió 20.0mL de *HCl* al 0.5 N para neutralizar el NaOH.
- Realizamos la titulación con NaOH 0.1 N hasta viraje de la fenolftaleína (valoración B).
- Finalmente calculamos el grado de esterificación con la siguiente (Ecuación 1.):

$$GE = \frac{B}{A+B} \times 100$$

Dónde:

GE = grado de esterificación

A = volumen de NaOH 0.1N gastado en valoración A.

B = Volumen de NaOH 0.1N gastado en valoración B.

b. Porcentaje de rendimiento del proceso de extracción:

Para el calcular el rendimiento de pectina, se calculó la pectina pura libre de humedad y cenizas, se tomó el peso de la cáscara en base seca para realizar los respectivos cálculos. Schultz, (2005). Para el porcentaje de rendimiento se utilizó la siguiente (Ecuación 2.):

$$\% \text{ de Rendimiento} = \frac{\text{pectina (g)}}{\text{peso prom. de cáscaras en base seca (g)}} \times 100$$

c. Sólidos solubles (°Brix):

Después de la etapa de filtrado en el proceso de extracción, medimos los sólidos solubles del mucílago obtenido en el proceso, esta operación se realizó con ayuda de un refractómetro marca ATAGO para lo cual se colocó 0.5 ml de cada una de las muestras en el lente óptico del refractómetro y se procedió a realizar la lectura anotando finalmente los valores obtenidos en pectinas de cáscaras de tuna. Este análisis se lo realizó de acuerdo al método refractométrico 942.15 (2005) de la AOAC.

d. Contenido de humedad:

Para la determinación de humedad pesamos 2 gramos de muestra de pectina en un recipiente de aluminio previamente seco y pesado. Posteriormente, se colocamos el recipiente y su contenido en la estufa a 100-105°C por 2 horas. Enfriamos y pesamos la muestra para realizar los cálculos respectivos (Cabarcas y Guerra, 2012).

Para determinar el contenido de humedad utilizamos la (Ecuación 3.):

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100$$

Donde:

H: pérdida por calentamiento en % de masa

m: masa del recipiente vacío, en g.

m1: masa del recipiente con la muestra húmeda en g

m2: masa del recipiente con la muestra seca.

3.5.2. Análisis sensorial

Para probar la efectividad de las pectinas obtenidas, elaboramos una mermelada de durazno a la cual le aplicamos las pectinas obtenidas de tuna extraídas a 3 diferentes tiempos y 3 diferentes temperaturas. Seguidamente evaluamos la calidad y la aceptabilidad del subproducto (pectina). Para la evaluación sensorial se invitó a treinta (30) **panelistas** semi entrenados (docentes de la Universidad Nacional de Cajamarca y alumnos del décimo ciclo de la carrera profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias). Se evaluaron los parámetros de: color, olor, sabor y consistencia.

Para la evaluación sensorial utilizamos la escala Likert (Grado de satisfacción) citada según (Peryamm y Pilgrim 2007) (Ver Anexo 1.).

3.6. Metodología experimental

3.6.1. Tipo de investigación

- De acuerdo con la orientación: Tipo (Aplicada)
- De acuerdo con la técnica de contrastación: Diseño (Experimental).

3.6.2. Variable independiente

Tabla 2

Variable independiente

Pectina de cáscaras de tuna extraída a diferentes tiempos y temperaturas				
Variable	Tiempo	40 minutos	50 minutos	60 minutos
Independiente	Temperatura	70°C	80°C	90°C

Nota: en la (Tabla 2) se muestran las variables independientes correspondientes a: tiempo y temperatura de extracción para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna.

3.6.3. Variable dependiente

Tabla 3

Variable dependiente

Pectinas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas		
Variables Dependientes	Análisis fisicoquímico (Obtención de pectina final)	<ul style="list-style-type: none">• Grado de esterificación• Porcentaje de rendimiento• Sólidos solubles• Contenido de humedad
	Análisis sensorial (aplicación de la pectina obtenida en la elaboración de una mermelada de durazno)	<ul style="list-style-type: none">❖ Color❖ Olor❖ Sabor❖ Consistencia

Nota: en la (Tabla 3) se muestran las variables dependientes correspondientes a: **análisis fisicoquímico** (Grado de esterificación, porcentaje de rendimiento, sólidos solubles y contenido de humedad) y **análisis sensorial** (color, olor, sabor y consistencia) aplicados a las muestras de pectinas obtenidas.

3.7. Definiciones operacionales

Tabla 4

Parámetros para extracción de pectinas de cáscaras de tuna

Parámetros Evaluados		
Método	Tiempo	Temperatura
Extracción ácida	40 minutos	70°C
(Ácido Cítrico	50 minutos	80°C
Hasta un pH de 2.5	60 minutos	90°C

Nota: en la (Tabla 4) se describen los parámetros evaluados para la extracción de pectina de cáscaras de tuna, el metodo usado fue extracción ácida usando ácido cítrico hasta un pH que osciló en un valor de 2.5, los tiempos y temperaturas sugeridas para esta investigación fueron: (40 minutos x 70°C, 50 minutos x 80°C y 60 minutos x 90°C).

Tabla 5

Variables de respuesta

N°	Tipo de análisis	Respuestas
1		Grado de esterificación
2	Análisis físicoquímicos	Porcentaje de rendimiento
3	(Obtención de pectina final)	Sólidos solubles
4		Contenido de humedad
5	Análisis sensorial	Color
6	(aplicación de la pectina	Olor
7	obtenida en la elaboración de	Sabor
8	una mermelada de durazno)	Consistencia

Nota: en la (Tabla 5) se observa las variables de respuestas para análisis fisicoquimico (sólidos solubles, grado de esterificación, porcentaje de rendimiento y contenido de humedad) y para analisis sensorial (color, olor, sabor, consistencia).

3.8. Unidad de análisis, población y muestra de estudio

3.8.1. Unidad de análisis

Para la unidad de análisis se utilizó materia prima de acuerdo a los siguientes criterios: fresca y en optimas condiciones.

3.8.2. Población

Para la población se usaron cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) recolectadas de las diferentes zonas productivas, establecimientos y de los mercados de la ciudad de Cajamarca.

3.8.3. Muestra

Para la muestra se usaron un total 13.500 kg de cáscaras de tuna (*Opuntia ficus Indica*) de las variedades: morada, amarilla y blanca. Para cada prueba preliminar, tipo de análisis y sus respectivos tratamientos se tomó una muestra de 1 ½ kg.

3.9. Instrumentos de colecta de datos

Tabla 6

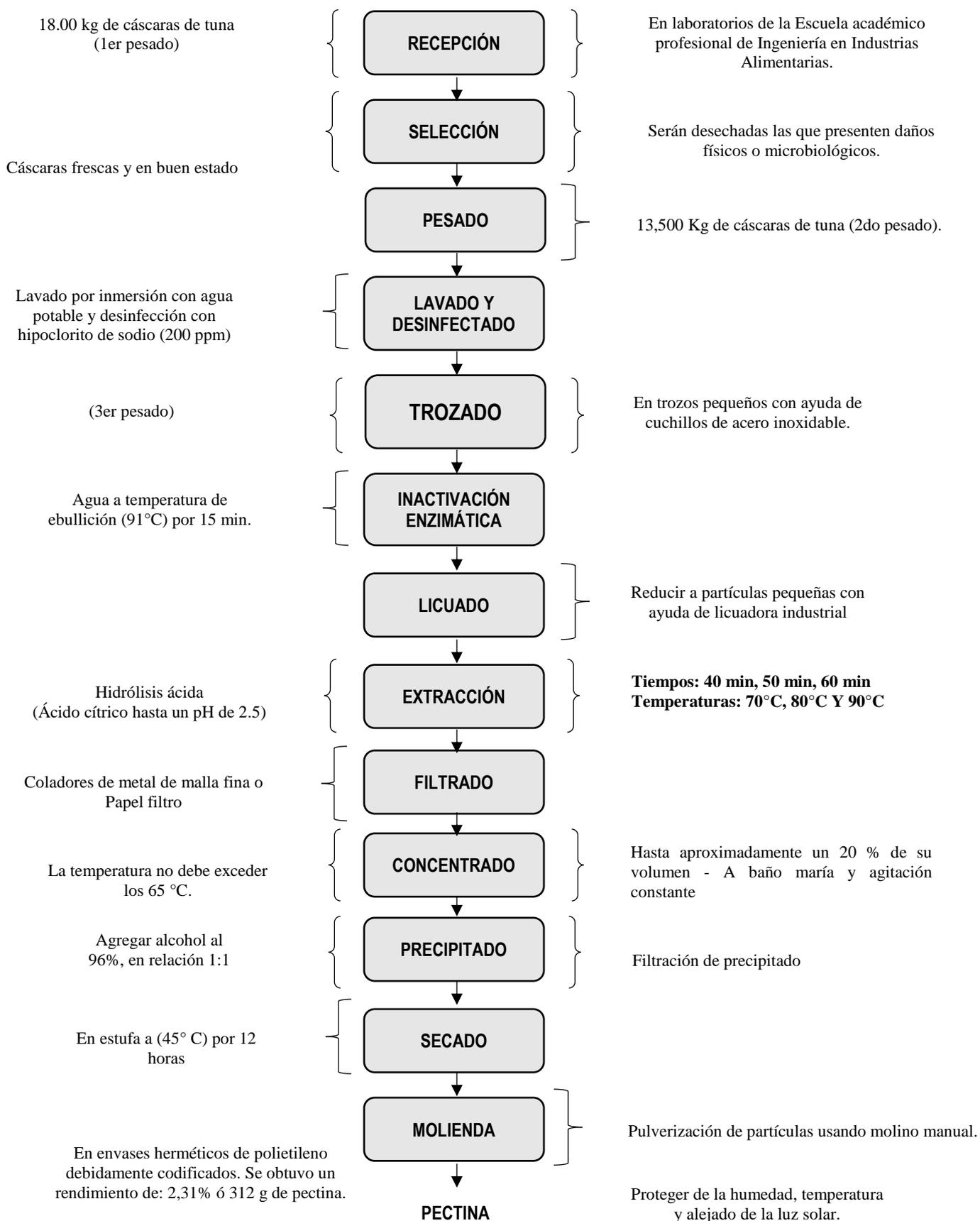
Instrumentos de colecta de datos

Variable	Instrumentos de recolección de datos
Peso de cáscaras (Kg)	Registro de masa utilizando una balanza de platillos
Tiempo de extracción (minutos)	Uso de un cronómetro
Temperatura de extracción (°C)	Uso de un termómetro
Grado de esterificación (%)	Método de valoración de Schultz, (2005)
Porcentaje de rendimiento (%)	Metodo sugerido por Schultz, (2005)
Solidos solubles (°Brix)	Toma de datos de un refractómetro
Contenido de humedad (%)	Método sugerido por (Cabarcas y Guerra, 2012).
Evaluación sensorial	Cartillas de evaluación (Escala Likert)

Nota: en la (Tabla 6) se describen los instrumentos de colecta de datos en los cuales se detallan las variables/unidades de medidas: (g), (min), (°C), (°Brix), (%) y el medio o instrumento utilizado: balanza, cronómetro, termómetro, refractómetro, ecuaciones y/o formulas sugeridas. A continuación, en la figura (10) se presenta el diagrama de flujo para la obtención de pectinas de cáscaras de tuna:

Figura 7

Diagrama de flujo para obtención de pectina – cáscaras de tuna



Nota: En la (Figura 7) se esquematiza el Diagrama de flujo para obtención de pectina – cáscaras de tuna; esquema adaptado de (Lliuyacc, 2018 y Bustamante, 2019).

3.10. Descripción de operaciones de proceso para extracción de pectina

Se siguió la metodología de (Lliuyacc, 2018 y Bustamante, 2019):

1. Recepción:

Se recolectó la materia prima (cáscaras de tuna) con un total de 18,00 kg procedentes del mercado San Sebastián y Mercado San Antonio de la ciudad de Cajamarca; luego, se realizó la recepción en los laboratorios de Tecnología de Alimentos/ Laboratorio de Frutas y Hortalizas de EAP. IIA (2H-109), de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Figura 8

Recepción y recolección de materia prima (cáscaras de tuna)



Nota: En la (Figura 8) se muestra la recolección de materia prima (cáscaras de tuna)

2. Selección:

Las cáscaras de tuna fueron seleccionadas de forma manual para verificar la presencia de agentes contaminantes, hongos y cualquier otro elemento que pudiese afectar el proceso. Se homogenizaron las cáscaras que presenten alto grado de maduración, controlando calidad y frescura de la materia prima.

Figura 9

Selección de materia prima (cáscaras de tuna)



Nota: En la (Figura 9) se muestra la etapa de selección de materia prima (cáscaras de tuna).

3. Pesado:

Esta operación se realizó con la finalidad de determinar el rendimiento de la materia prima (13,500 Kg de cáscaras de tuna).

Figura 10

Pesado de materia prima (cáscaras de tuna)



Nota: En la (Figura 10) se observa la etapa de pesado de materia prima.

4. Lavado y desinfectado:

Una vez seleccionadas las cáscaras se procedió a lavarlas con abundante agua para retirar impurezas, posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio (200 ppm/1L) y finalmente se escurrieron las muestras con ayuda de coladores.

Figura 11

Llavado y desinfectado



Nota: En la (Figura 11) se observa la etapa de lavado y desinfectado

5. Trozado:

Esta operación redujo el tamaño de la materia prima en trozos más pequeños facilitando su manejo. Las cáscaras de (tuna) se cortaron con ayuda de cuchillos de acero inoxidable en pequeños pedazos para aumentar la superficie de contacto de la muestra.

Figura 12

Trozado de cáscaras



Nota: En la (Figura 12) se observa la etapa de trozado de cáscaras de tuna.

6. Inactivación enzimática:

Al material trozado (cáscaras) se le agregó un litro de agua hirviendo por 15 minutos para inactivar las enzimas que degradan la pectina. Periódicamente se retiraron las muestras a fin de realizar las medidas fisicoquímicas correspondientes, y con ello evaluamos la inactivación de la pectina esterasa. La muestra retirada se sometió inmediatamente a un enfriamiento rápido en agua a 5 °C, a fin de detener la inactivación térmica.

Figura 13

Inactivación enzimática



Nota: En la (Figura 13) se observa la etapa de inactivación enzimática

7. Licuado:

Proceso por el cual se obtuvo una sustancia más homogénea. Las cáscaras cortadas e inactivadas enzimáticamente se trituraron en una licuadora industrial y se recogieron en ollas de aluminio con el fin de las muestras sean más homogéneas y faciliten la separación de la pectina de los demás compuestos por medio de la hidrólisis ácida.

Figura 14

Licuado de cáscaras



Nota: En la (Figura 14) se observa la etapa de licuado de cáscaras

8. Extracción:

Se sometió a calor a las soluciones de cascara de tuna/ácido, mediante una cocina industrial en ollas de aluminio, agitando de modo constante con la finalidad de que el calor se transfiera a toda la solución, esta operación se realizó por separado según corresponda cada tratamiento: tiempo (T_1 : 40min, T_2 : 50min y T_3 : 60min) y temperatura (T_1 : 70°C, T_2 : 80°C y T_3 : 90°C). Añadimos ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) controlando el pH de 2.5 utilizando un pHmetro.

Figura 15

Extracción ácida de pectina



Nota: En la (Figura 15) se observa la etapa de extracción de pectina (método ácido).

9. Filtrado:

Esta operación consistió en la separación de los residuos grandes y pequeños de la solución. La solución extraída se coló usando un colador de metal de finos agujeros en una olla de aluminio con la finalidad de separar la solución de pectina – ácido, de los demás residuos, una vez terminado este proceso se midió el volumen de la solución para su posterior concentración.

Figura 16

Filtrado de pectina



Nota: En la (Figura 16) observamos la etapa de filtrado de pectina.

10. Concentrado:

En esta etapa concentraremos las soluciones hasta aproximadamente un 20 % de su volumen total utilizando una cocina industrial a baño maría y agitación constante, con la finalidad de disminuir los volúmenes de reactivos utilizados, así como el volumen de los equipos. Se controló la temperatura para no superar los 65 °C ya que la pectina es susceptible a la degradación a elevadas temperaturas. En esta etapa se tuvo mucho cuidado ya que al no tener un sistema continuo dificulta mantener la temperatura constante.

Figura 17

Concentrado de pectina



Nota: En la (Figura 17) se observamos la etapa de concentración de pectina.

11. Precipitado:

Se añadió alcohol etílico al 96% a la solución concentrada, formando un gel precipitado, se filtró el gel mecánicamente y se purificó la pectina repitiendo el proceso mencionado 4 veces. Cada uno de los precipitados se filtró en un lienzo de poros finos con una agitación constante.

Figura 18

Precipitado de pectina con alcohol.



Nota: En la (Figura 18) se muestra la etapa de precipitado de pectina utilizando alcohol.

12. Secado:

La pasta obtenida por el filtrado se secó utilizando un secador continuo controlado o estufa a 40 +/- 5 °C por 12 horas, hasta mantener un peso constante; la temperatura no tiene que exceder los 65 °C, por cuanto la pectina es susceptible a degradación a altas temperaturas. Se obtuvo una pectina compacta en pequeñas hojuelas.

Figura 19

Secado de muestras en estufa



Nota: En la (Figura 19) se observa el secado de las muestras de pectina.

13. Molienda:

Las hojuelas de pectina de las cáscaras de tuna, se molieron utilizando un molino manual procurando hacerlo de forma más rápida por cuanto la pectina es higroscópica es decir absorbe humedad del ambiente. Terminada esta etapa se determinará las variables de proceso.

Figura 20

Molido de pectina



Nota: En la (Figura 20) se observa la etapa de molido de las muestras de pectina.

14. Envasado:

Las pectinas obtenidas se trasladaron a envases herméticos protegidos de la humedad, temperatura y alejada de la luz solar. Antes de envasar se procedió al pesado final de las muestras. El peso final de pectina fue (312g).

Figura 21

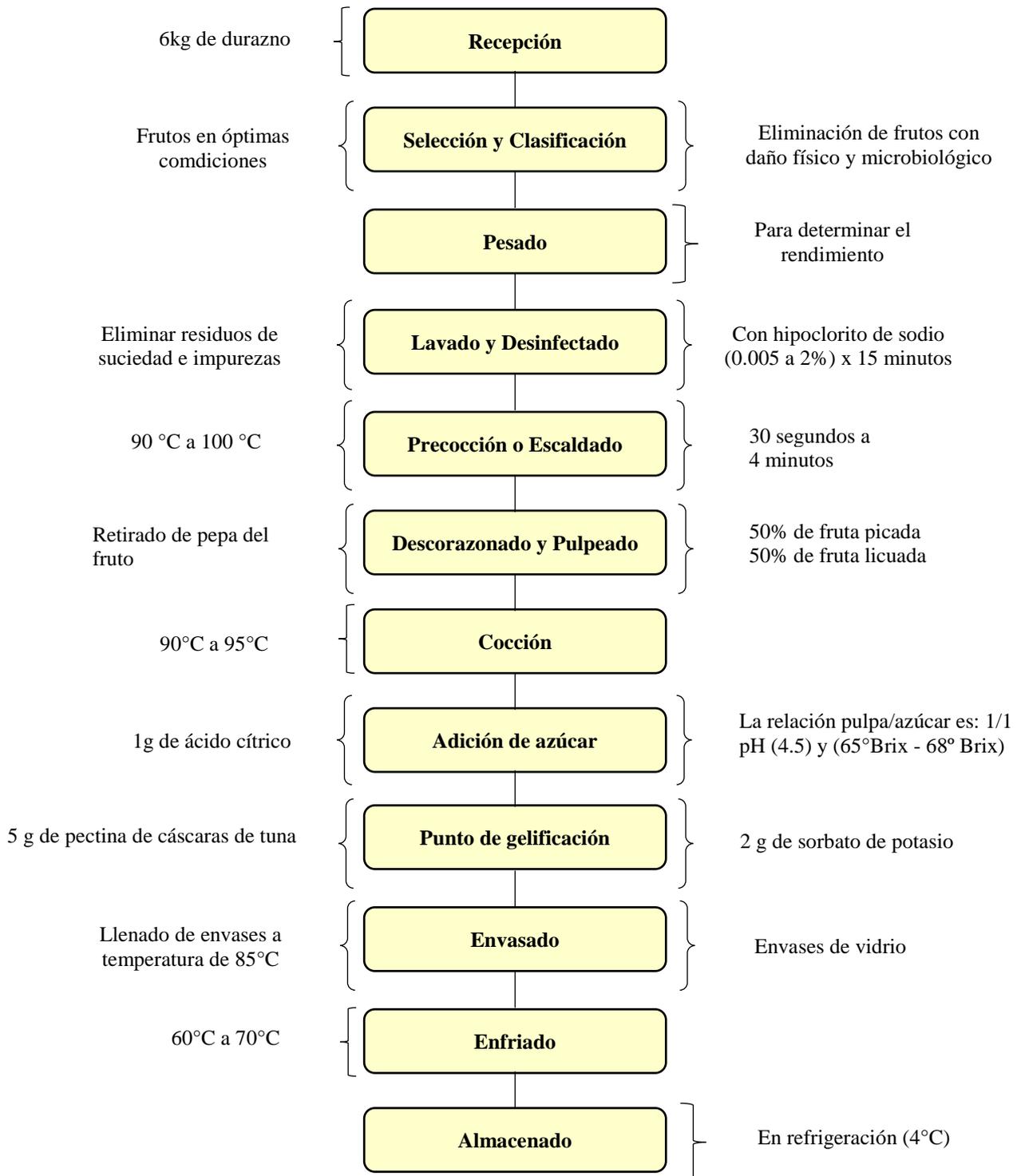
Envasado de pectina



Nota: En la (Figura 21) observamos la etapa de envasado del producto final (pectina obtenida de cáscaras de tuna). Estas muestras se envasaron en envases plásticos debidamente cerrados.

Figura 22

Flujograma de elaboración de mermelada de durazno aplicando la “Pectina obtenida de cáscaras de tuna”



Nota: En la (Figura 22) se esquematiza el flujograma de elaboración de mermelada de durazno, aplicando la “Pectina obtenida de cáscaras de tuna” Esquema adaptado de (Campos, 2017).

3.11. Procedimiento para la elaboración de mermelada de durazno aplicando la “Pectina obtenida de cáscaras de tuna”

Se siguió la metodología de (Campos, 2017):

1. Recepción:

Se recibió (6 kg) de duraznos junto con los demás insumos (azúcar, ácido cítrico y conservante) en el laboratorio de los Laboratorios de: Tecnología de Alimentos y Frutas y Hortalizas, ubicados en el primer piso de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca.

2. Selección y clasificación:

En esta operación se eliminaron aquellas frutas en estado de podredumbre. El fruto recolectado fue sometido a un proceso de selección y clasificación, ya que la calidad de la mermelada dependerá de la fruta que se encuentre en óptimas condiciones.

3. Pesado:

Es importante para determinar rendimientos y calcular la cantidad de los otros ingredientes que se añadieron posteriormente.

4. Lavado y desinfectado:

Se realizó con la finalidad de eliminar cualquier tipo de partículas extrañas, suciedad y restos de tierra que pueda estar adherida a la fruta. En esta operación se puede realizar por inmersión, agitación. Una vez lavada la fruta la desinfectamos con una solución de hipoclorito de sodio (lejía) en una concentración 0.05 a 0.2%. El tiempo de inmersión en estas soluciones desinfectantes no debe ser menor a 15 minutos. Finalmente la fruta se enjuaga con abundante agua.

5. Precocción o escaldado:

Este proceso de cocción es importante para romper las membranas celulares de la fruta y extraer toda la pectina. La cantidad de agua a añadir dependerá de lo jugosa que sea la fruta, de la cantidad de fruta colocada en la olla y de la fuente de calor. Cuanto más madura sea la fruta menos agua se precisa para reblandecerla y cocerla. En este proceso las frutas se sometieron a una temperatura de 90 °C a 100 °C por un intervalo de 30 segundos hasta 4 minutos.

6. Descorazonado y pulpeado:

Procedimos a descorazonar los duraznos retirándole la pepa central de cada uno de los frutos con la ayuda de cuchillos de acero inoxidable, luego de extraer la pulpa se aplicó a la mermelada un 50% (fruta picada) y un 50% (fruta licuada).

7. Cocción:

La cocción de la mezcla es la operación que tiene mayor importancia sobre la calidad de la mermelada; por lo tanto, requiere de mucha destreza y práctica de parte del operador, la temperatura de cocción debe oscilar entre los 90 a 95°C; el tiempo de cocción depende de la variedad y textura de la materia prima. Al respecto un tiempo de cocción corto es de gran importancia para conservar el color y sabor natural de la fruta y una excesiva cocción produce un oscurecimiento de la mermelada debido a la caramelización de los azúcares. Se agregó luego la tercera parte restante de la fruta trozada.

8. Adición de azúcar:

Una vez que el producto está en proceso de cocción y el volumen se haya reducido en un tercio, se procedió a añadir el ácido cítrico (1g) y la mitad del azúcar en forma directa. La cantidad total de azúcar a añadir en la Formulación se calcula teniendo en Cuenta la cantidad de pulpa obtenida. La relación pulpa/azúcar es: 1/1. Se deberá corregir el pH hasta llegar a (4.5) y los sólidos solubles deben oscilar entre (65 y 68° Brix).

9. Punto de gelificación:

Finalmente, en esta etapa se añadirá la pectina obtenida en la presente investigación (pectina de cáscaras de tuna) la cual se le agregó (5g) de cada tratamiento a cada una de las mermeladas elaboradas. La pectina debe mezclarse con el azúcar que falta añadir evitando de este modo la formación de grumos. Durante esta etapa la masa debe ser removida constantemente. Al finalizar la elaboración de la mermelada añadiremos (2g) de conservante sorbato de potasio disuelto en una mínima cantidad de agua hirviendo.

10. Envasado:

Se realizó en caliente a una temperatura de 85°C. Esta temperatura mejora la fluidez del producto durante el llenado y a la vez permite la formación de un vacío adecuado dentro del envase. Los envases fueron de vidrio y estuvieron previamente lavados, desinfectados y esterilizados.

11. Enfriado:

El producto envasado debe ser enfriado rápidamente para conservar la calidad y para que se genere el denominado: “Shock térmico”. El enfriamiento no debe ser excesivo ya que el gel se rompe y la mermelada coagula. Se debe realizar con agua que baja la temperatura hasta los 60 – 70°C, tomando precauciones para que no se produzca la gelificación, que debe tener lugar en el envase.

12. Almacenado

Finalmente se almacenó en refrigeración a (4°C) hasta su posterior evaluación sensorial.

3.12. Factores de estudio

Esta investigación tuvo los siguientes factores de estudio: A y B que corresponden al tiempo y temperatura de extracción de pectinas obtenidas de cáscaras de tuna.

Tabla 7

Factores de estudio

FACTOR A	
Tiempo de extracción	
A_1	40 minutos
A_2	50 minutos
A_3	60 minutos
FACTOR B	
Temperatura de extracción	
B_1	70°C
B_2	80°C
B_3	90°C

Nota: en la (Tabla 7) se describe el factor A que corresponde a tiempo de extracción (40 minutos, 50 minutos y 60 minutos) y el factor B que corresponde a temperatura de extracción de pectina (70°C, 80°C y 90°C).

3.13. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) con 3 repeticiones y estructura factorial 3A x 3B. El primer factor (A) correspondió al tiempo de extracción: ($a_1= 40$ minutos, $a_2= 50$ minutos, $a_3 = 60$ minutos) y el factor B correspondió a la temperatura de extracción: ($b_1 = 70^\circ\text{C}$, $b_2= 80^\circ\text{C}$, $b_3 = 90^\circ\text{C}$) (Vásquez, 2014).

3.14. Modelo estadístico

Para esta investigación se usó el siguiente modelo estadístico citado por Vásquez (2014):

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a = 3 \\ j = 1, 2, \dots, b = 3 \\ k = 1, 2, \dots, n = 3 \end{cases}$$

Donde:

μ = efecto verdadero medio

α_i = efecto verdadero del i-ésimo nivel del factor A

β_j = efecto verdadero del j-ésimo nivel del factor B

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto verdadero de la interacción del i-ésimo nivel del factor A con el j-ésimo nivel del factor B.

ε_{ijk} = efecto verdadero de la k-ésima unidad experimental sujeta a la ij-ésima combinación de tratamientos.

Se supone que μ es constante y $\varepsilon_{ijk} \sim DNI(0, \sigma^2)$

Este experimento está asociado a un diseño factorial completamente aleatorizado.

3.15. Matriz de tratamientos:

Tabla 8

Matriz de tratamientos

Factor	A								
	1			2			3		
Factor B	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	Y_{111}	Y_{121}	Y_{131}	Y_{211}	Y_{221}	Y_{231}	Y_{311}	Y_{321}	Y_{331}
	Y_{112}	Y_{122}	Y_{132}	Y_{212}	Y_{222}	Y_{232}	Y_{312}	Y_{322}	Y_{332}
	Y_{113}	Y_{123}	Y_{133}	Y_{213}	Y_{223}	Y_{233}	Y_{313}	Y_{323}	Y_{333}
Total AB	$Y_{11.}$	$Y_{12.}$	$Y_{13.}$	$Y_{21.}$	$Y_{22.}$	$Y_{23.}$	$Y_{31.}$	$Y_{32.}$	$Y_{33.}$
Total A	$Y_{1..}$			$Y_{2..}$			$Y_{3..}$		
Promedio A	$\bar{Y}_{1..}$			$\bar{Y}_{2..}$			$\bar{Y}_{3..}$		
Total B	$Y_{.1.}$			$Y_{.2.}$			$Y_{.3.}$		
Promedio B	$\bar{Y}_{.1.}$			$\bar{Y}_{.2.}$			$\bar{Y}_{.3.}$		
Total General	$Y_{...}$			Promedio: $\bar{Y}_{...}$					

En la (Tabla 8) podemos observar la matriz de tratamientos donde se detallan los factores A y B, el total AB, el total A, el promedio A, el total B y el promedio B (Vásquez, 2014).

3.16. Análisis estadístico

Tabla 9

Análisis de varianza generalizado para un factorial de dos factores (A, B) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	F
			Modelo I
Tratamientos	(t - 1):	8	
A	(a - 1):	2	$\frac{CM_{(A)}}{CM_{error}}$
B	(b - 1):	2	$\frac{CM_{(B)}}{CM_{error}}$
A B	(a - 1) (b - 1):	4	$\frac{CM_{(AB)}}{CM_{error}}$
Error	ab (n-1):	27	
Total	abn - 1:	26	

Nota: En la (Tabla 9) se describe un modelo estadístico de referencia de Vásquez (2014); se presenta el Análisis de varianza generalizado para un factorial de dos (2) factores (A, B) en un diseño completamente al azar con tres repeticiones donde se detalla la Fuente de variación, los grados de libertad, la suma de cuadrados.

3.17. Combinación de tratamientos

Tabla 10

Combinación de tratamientos

Unidades experimentales	Tratamientos	Niveles (combinaciones)	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Repeticiones
1	T_1	a_1b_1	40 min	70°C	3
2	T_2	a_1b_2	40 min	80 °C	3
3	T_3	a_1b_3	40 min	90 °C	3
4	T_4	a_2b_1	50 min	70 °C	3
5	T_5	a_2b_2	50 min	80 °C	3
6	T_6	a_2b_3	50 min	90 °C	3
7	T_7	a_3b_1	60 min	70 °C	3
8	T_8	a_3b_2	60 min	80 °C	3
9	T_9	a_3b_3	60 min	90 °C	3

Nota: En la (Tabla 10) se detallan los tratamientos ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8, T_9$); los niveles: (a_1, a_2, a_3) que corresponden a tiempos de extracción: (40 minutos, 50 minutos, 60 minutos); los niveles: (b_1, b_2, b_3) que corresponden a temperaturas de extracción: (70°C, 80°C y 90°C) y las unidades experimentales fueron un total de nueve (9) (Vásquez, 2014).

3.18. Trabajo de gabinete

Los datos obtenidos fueron tabulados para pectinas de cáscaras de tuna. Luego se analizaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) para la determinación de las diferencias significativas entre tratamientos (combinación de factores); posteriormente se realizó la prueba de rango múltiple de tukey al 5% de probabilidad para el factor significativo.

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización físicoquímica de pectinas (cáscaras de tuna) extraídas a diferentes tiempos y temperaturas

Tabla 11

Caraterización físicoquímica de pectinas (cáscaras de tuna) extraídas a diferentes tiempos y temperaturas

Unidades experimentales	Tratamientos	Niveles (combinaciones)	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Grado de esterificación (GE)	Porcentaje de rendimiento	Sólidos solubles (°Brix)	Contenido de humedad (%)
1	T_1	a_1b_1	40 min	70°C	51.2	2.25	4.6	7.96
2	T_2	a_1b_2	40 min	80°C	51.3	3.07	4.4	7.91
3	T_3	a_1b_3	40 min	90°C	56	2.49	4.5	8.48
4	T_4	a_2b_1	50 min	70°C	40.3	3.17	4.5	9.65
5	T_5	a_2b_2	50 min	80°C	52.7	2.53	4.6	7.56
6	T_6	a_2b_3	50 min	90°C	70.1	1.9	4.6	8.27
7	T_7	a_3b_1	60 min	70°C	70.3	1.73	4.6	7.4
8	T_8	a_3b_2	60 min	80°C	58.5	1.87	4.7	6.51
9	T_9	a_3b_3	60 min	90°C	74.8	1.64	4.6	7.69

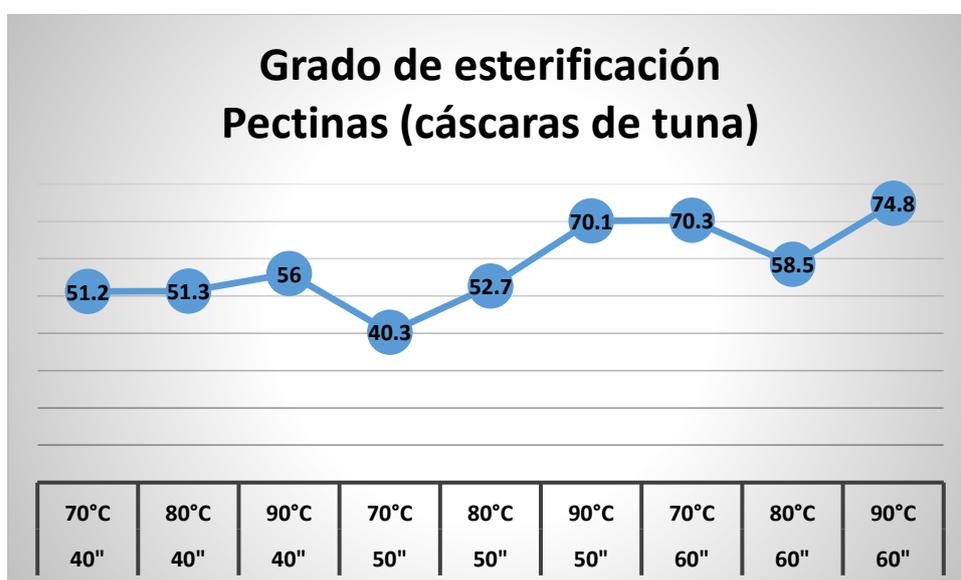
Nota: En la (Tabla 11) se describen las nueve unidades experimentales realizadas en la presente investigación; con los valores obtenidos en la caracterización físicoquímica de las muestras de pectina obtenidas a partir de cáscaras de tuna, las cuales fueron extraídas de diferentes tiempos y temperaturas. Se analizaron los siguientes parámetros: grado de esterificación, porcentaje de rendimiento, sólidos solubles y contenido de humedad, tales resultados se detallan a continuación de manera individual:

4.1.1. Resultados de grado de esterificación

El grado de esterificación está ligado al grupo carboxilo de las cadenas de pectina de los residuos de ácido urónico con etanol etílico (Van Buren, 2002). La firmeza de los tejidos vegetales y la cohesión, está relacionado con el grado de metilación. Si se reduce el grado de metilación aumenta la cohesión en los tejidos que han sido calentados (Multon, 2008).

Figura 23

Grado de esterificación para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas



Nota: En la (Figura 23) se observa para “**Grado de esterificación**”: el valor más alto lo obtuvo el tratamiento (60 minutos x 90 grados) con un valor de (74.8); seguido del tratamiento (60 minutos x 70°C) con un valor de (70.3) y el menor valor lo obtuvo el tratamiento de (50 minutos x 70°C) con (40.3).

Montenegro (2014) en lo referente al grado de esterificación para pectina de nopal registró el mejor tratamiento a (90°C x 30 minutos) con un valor de 86.9, en comparación con el tratamiento a (80°C x 45 minutos) con un valor de 78.7, siendo este último uno de los valores más bajos

Espinosa y Arellano (2010) obtuvieron los mejores valores de grado de esterificación para pectinas de nopal a (80 °C x 60min) cuyo valor fue de 29.25, y el valor mas bajo lo obtuvo a (90°C x 30min) cuyo valor fue de 28.74, y que pertenece a un tipo de pectina de bajo metoxilo por ser de un grado de esterificación inferior al 50%.

Todas las muestras de pectina de cáscaras de tuna de la presente investigación obtuvieron valores altos en lo referente al grado de esterificación ya que sus valores obtenidos fueron superiores a 50% con estos resultados las podemos considerar como pectinas de “Alto Metoxilo” ya que sus valores coinciden con lo reportado por (Cubero, 2002) el cual afirma que el grado de esterificación que debe presentar esta pectina debe de ser superior al 50%, con características de ser térmicamente reversibles, asimismo este tipo de pectinas gelifican en medio ácido, en un rango de pH que va desde 2.0 hasta 3.5, con sólidos solubles mayores al 55%. Esto nos demuestra que el grado de esterificación determina el tipo de pectina, es decir entre mayor sea el grado de esterificación mejor será el tipo de pectina obtenida.

A continuación, haciendo uso de la (Tabla 11) se realizó una comparación de las pectinas obtenidas en esta investigación y las clasificó según el grado de metilación y grado de amidación para ver en que categoría se ubican:

Tabla 12

Comparación entre el tipo de pectinas y su grado de metilación/grado de amidación

Tipo	Grado de metilación	Grado de amidación	Descripción común
Altamente metiladas	74 – 77	0	Gelificación ultrarápida
Altamente metiladas	71 – 74	0	Gelificación rápida
Altamente metiladas	66 – 69	0	Gelificación rápida media
Altamente metiladas	58 – 65	0	Gelificación lenta
Altamente metiladas	< 58	0	Gelificación extra lenta
Baja metilación	40	0	Gelificación lenta
Baja metilación	30	0	Gelificación rápida
Amidada	35	15	Gelificación lenta
Amidada	30	20	Gelificación rápida

Nota: datos de referencia tomados de (Garna, et. al. 2007) comparando nuestros resultados con la (Tabla 12) podemos afirmar que los tres tipos de pectina obtenidas de cáscaras de tuna tienen las siguientes características:

Según comparación con la tabla 12 de autor (Garna, et. al. 2007). La pectina con el tratamiento (60 minutos x 90 grados) con un valor de (74.8) se considera altamente metilada ya que el valor obtenido se encuentra dentro del rango: (74 - 77), su grado de amidación es cero (0) y su categoría de es de gelificación ultrarápida.

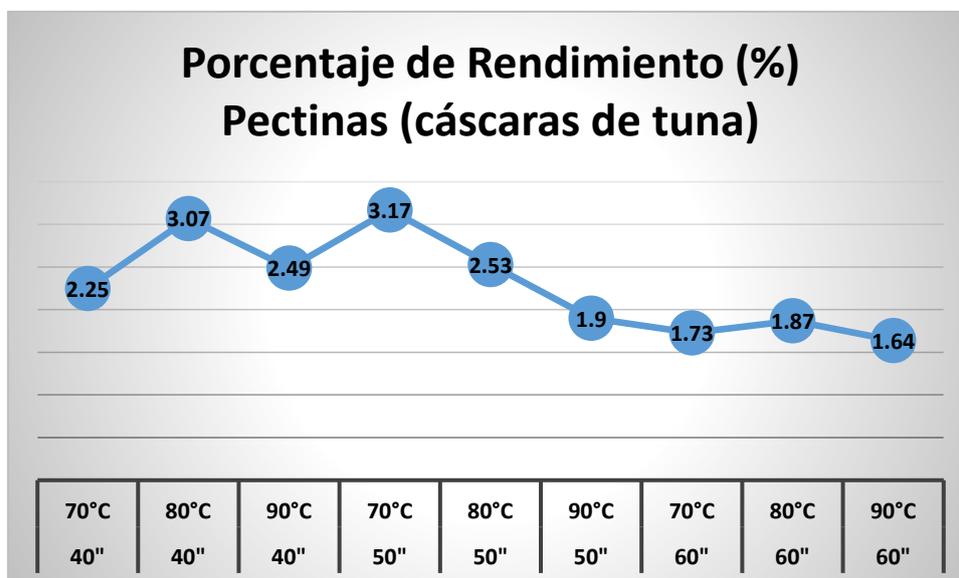
Según comparación con la tabla 12 de autor (Garna, et. al. 2007). La pectina con el tratamiento (50 minutos x 80°C) con un valor de (52.7) se considera también altamente metilada ya que el valor obtenido se encuentra dentro del rango: (< 58), su grado de amidación es cero (0) y su categoría de es de gelificación extra lenta.

Según comparación con la tabla 12 de autor (Garna, et. al. 2007). La pectina con el tratamiento (40 minutos x 70°C) con un valor de (51.2) se considera altamente metilada ya que el valor obtenido se encuentra dentro del rango: (< 58), su grado de amidación es cero (0) y su categoría de es de gelificación extra lenta.

4.1.2. Resultados de porcentaje de rendimiento

Figura 24

Porcentaje de rendimiento para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas



Nota: En la (Figura 24) se observan los resultados referentes al “**Porcentaje de rendimiento**” donde el mayor porcentaje de rendimiento lo encontramos en el tratamiento (50 minutos x 70°C) con un valor de (3.17%); el tratamiento (40 minutos x 80°C) reportó un valor de (3.07%) y el menor valor de rendimiento lo encontramos en el tratamiento (60 minutos x 90°C) con un valor de (1.64%).

Lozada (2007) determinó que aplicando temperaturas de 60°C se obtiene mayor rendimiento con valores de 0.18% por cada gramo de materia seca, en lo referente a extracción de pectina de las cáscaras de las tunas.

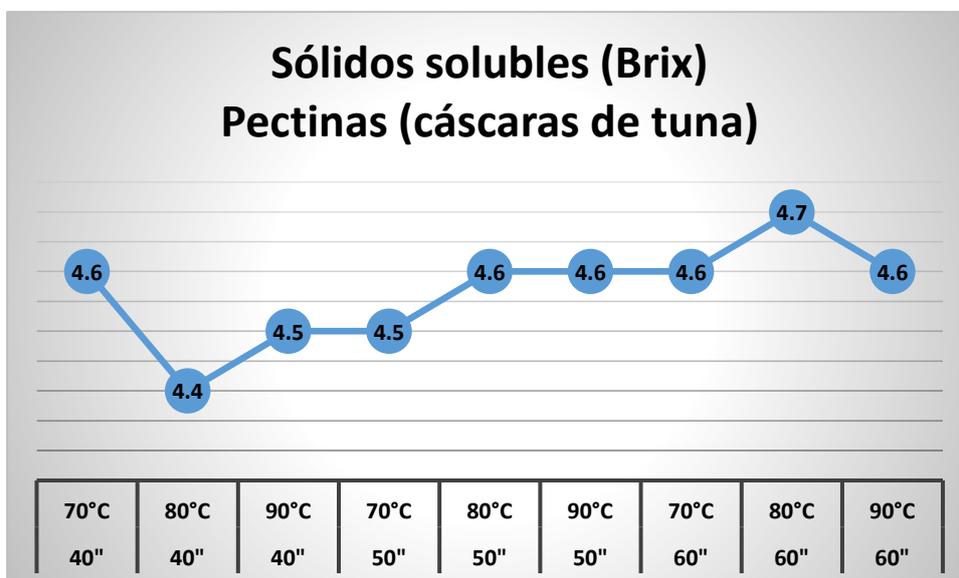
Bustamante (2019) reportó que aplicando una temperatura de extracción 80 °C y un tiempo 30 minutos se obtiene un mayor porcentaje de rendimiento con un valor de 0.56% en pectina de paleta de tuna.

Espinosa y Arellano (2010) señalan que en pectinas de nopal se obtuvo un mayor rendimiento al aplicar una temperatura de extracción de 80 °C y un tiempo de 30min) con valor de 0,677 %.

4.1.3. Resultados de sólidos solubles

Figura 25

Sólidos solubles para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas



Nota: En la (Figura 25) se observan los resultados referentes a “**Sólidos solubles**”, se realizó un promedio de todos los valores obtenidos aplicando diferentes tiempos y temperaturas de extracción para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna, donde el promedio general de sólidos solubles fue de (4.5 °Brix).

Montenegro (2019) reportó para pectina de tuna en relación a los sólidos solubles el mejor tratamiento a (90°C x 30 minutos) con un valor de 2.47 °Brix, en comparación con el tratamiento de (80°C x 30 minutos) con un valor de 2.0 °Brix

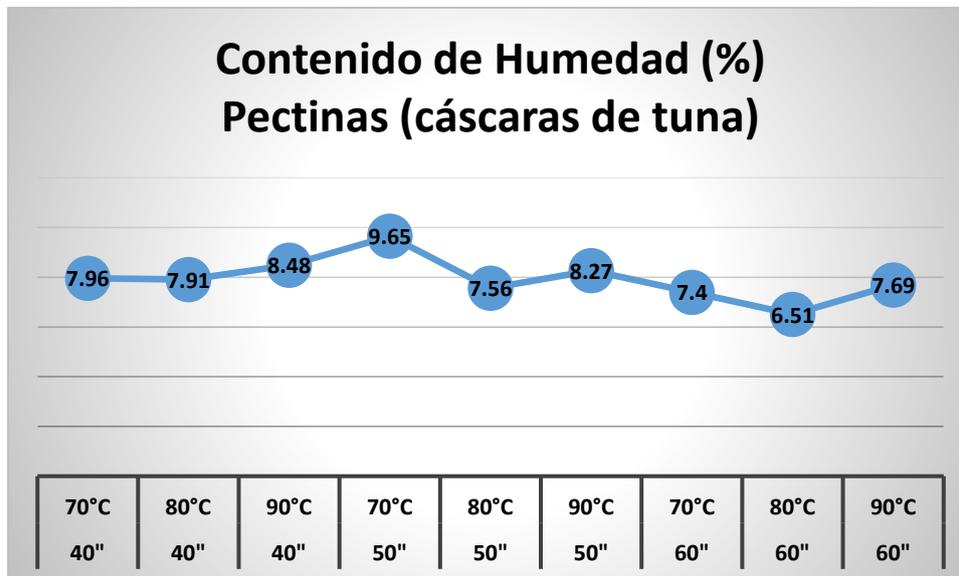
Espinosa y Arellano (2010) obtuvieron para pectinas de nopal en lo referente a sólidos solubles a: (80 ° C x 30min) un valor de 2.633 °Brix, a: (90 °C x 60min) un valor de 2,500 °Brix y a: (80 °C x 60min) un valor de 2.433 °Brix.

Es necesario saber que a mayor concentración de los sólidos solubles (°Brix), mayor es la fuerza del gel que se obtiene y mayor temperatura de gelificación. Un exceso de sólidos solubles °Brix hace que la fuerza del gel disminuya. La cantidad de sólidos solubles dependen de la materia prima y del tipo de pectina, el alto contenido de sólidos solubles favorece a la calidad de la pectina obtenida.

4.1.4. Resultados de contenido de humedad

Figura 26

Contenido de humedad para pectinas obtenidas de cáscaras de tuna extraídas a diferentes tiempos y temperaturas



Nota: En la (Figura 26) se muestran los valores obtenidos en lo referente a “**Contenido de humedad**”: el valor más alto se encontró en el tratamiento (50 minutos x 70°C) con un valor de (9.65%), seguido del tratamiento (40 minutos x 90°C) que obtuvo un valor de (8.48%) y el valor mas bajo de humedad se encontró en el tratamiento (60 minutos x 80°C) con un valor de (6.51%).

Lozada (2007) obtuvo en pectina de cáscaras de tuna (*Opuntia* spp.) al aplicar una temperatura de 60°C un (6.11% de humedad) y al aplicar una temperatura de 70°C un (3.42% de humedad).

Puerta (2006) hace referencia a los datos establecidos por: FAO: Food and Agriculture Organization; FCC: Food Chemicals y Codex ECC: Environmental Export Council; donde para que una pectina sea considerada “commercial” debe tener un valor máximo humedad del 12% (Ver Anexo 2).

Puede observarse que las muestras de pectina obtenidas a partir de cáscaras de tuna de la presente investigación presentaron valores de contenidos de humedad en un rango promedio de (7.93%) un porcentaje bajo y que se encuentra dentro del rango

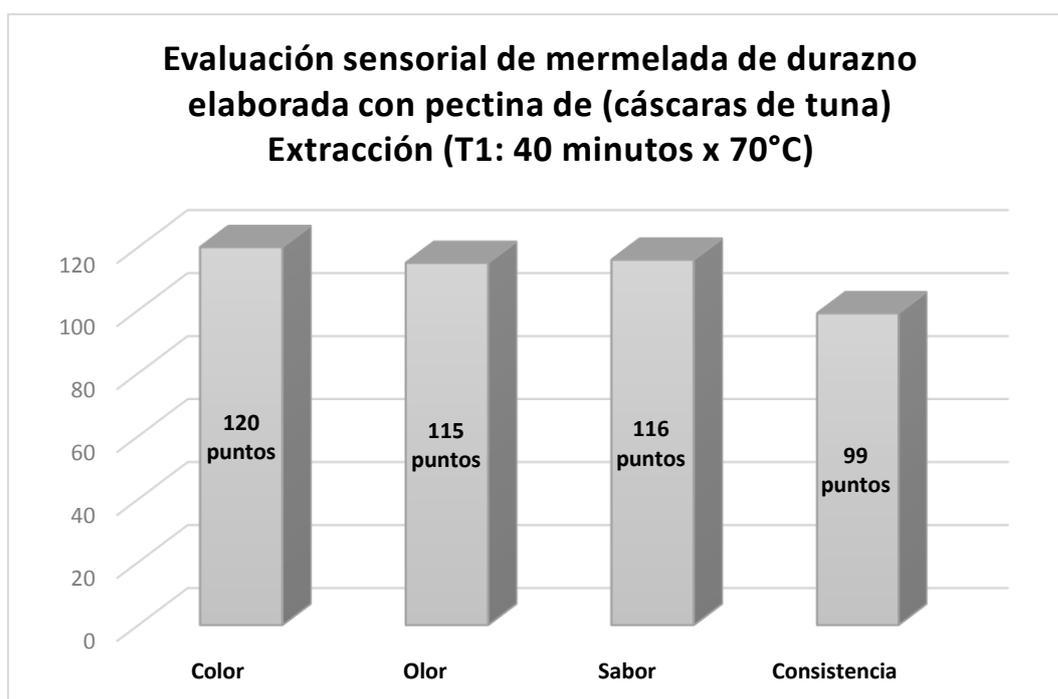
establecido descrito líneas arriba, lo cual lo convierte en un material estable, muy poco propenso al deterioro y a la descomposición microbiana, facilitando su almacenaje y transportación, aspectos estos de gran importancia si se piensa en el empleo de este residual (pectina) como materia prima para otros usos convencionales.

4.2. Resultados sensoriales (Aplicación de pectina obtenida de cáscaras de tuna en mermelada de durazno)

Para probar la efectividad de nuestro producto elaboramos una mermelada de durazno utilizando la pectina obtenida. El panel semientrenado de 30 personas, utilizó la cartilla: Escala Likert – Grado de Satisfacción (Anexo 1).

Figura 27

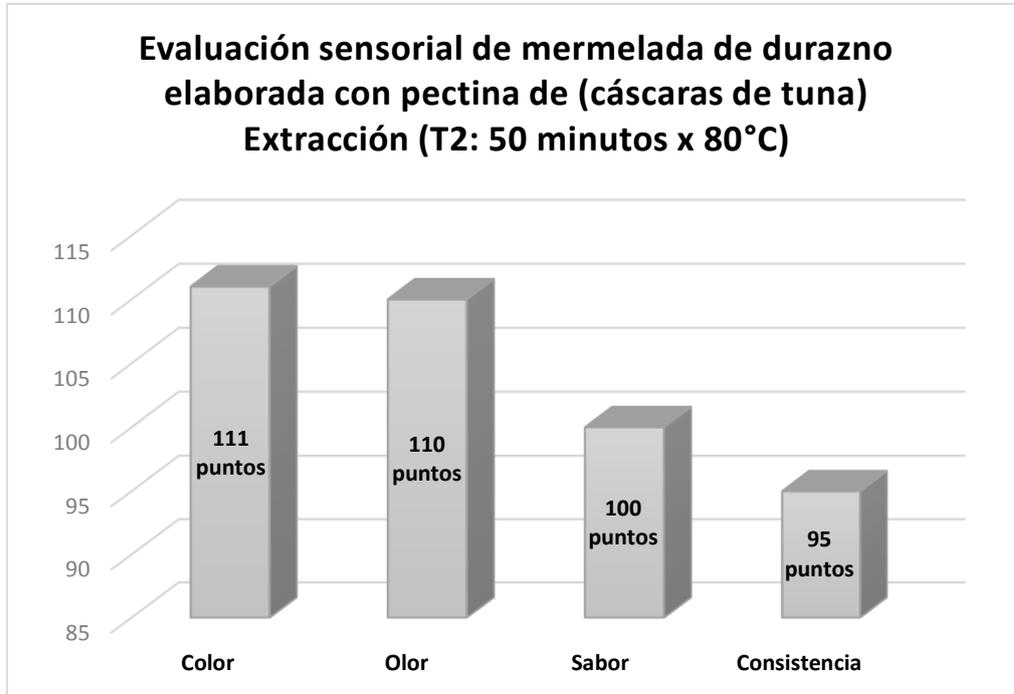
Evaluación sensorial de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna, extraída a (T_1 : 40 minutos x 70°C)



Nota: En la (Figura 27) se presenta la columna apilada 3D con los resultados de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna extraída a (T_1 : 40 minutos x 70°C), donde el color obtuvo (120 puntos), olor (115 puntos), sabor (115 puntos) y consistencia (99 puntos). Esta muestra de pectina obtuvo un valor general de 450 puntos.

Figura 28

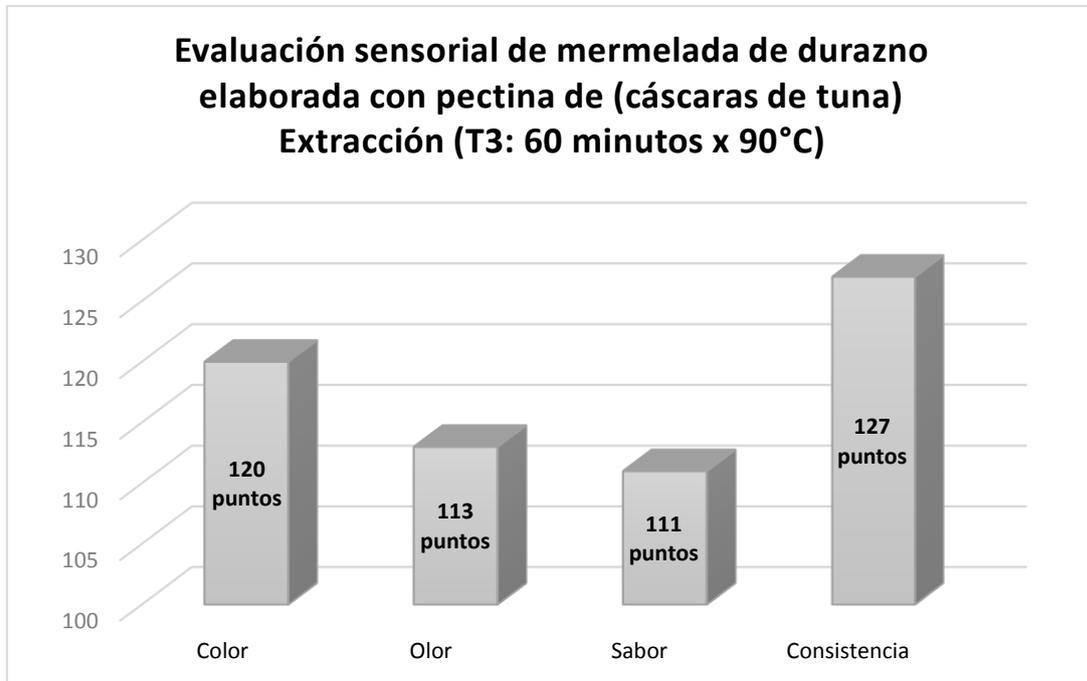
Evaluación sensorial de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna, extraída a (T_2 : 50 minutos x 80°C)



En la (Figura 28) se presenta la columna apilada 3D con los resultados de mermelada de durazno elaborada con pectina obtenida de cáscaras de tuna extraída a (T_2 : 50 minutos x 80°C); donde la mayor puntuación se obtuvo en color con (111 puntos), olor (110 puntos), sabor (100 puntos) y el menor valor se encontró en la consistencia con (95 puntos). Esta muestra de pectina obtuvo un valor general de 416 puntos.

Figura 29

Evaluación sensorial de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna, extraída a (T_3 : 60 minutos x 90°C)



En la (Figura 29) se presenta la columna apilada 3D con los resultados de mermelada durazno elaborada con pectina obtenida de cáscaras de tuna extraída a (T_3 : 60 minutos x 90°C), donde el color obtuvo (120 puntos), olor (113 puntos), el menor valor se encontró en el sabor con (111 puntos) y el mayor valor en la consistencia con (127 puntos). Esta muestra de pectina obtuvo el valor general de 471 puntos y fue la muestra con mayor preferencia y aceptación por parte de los panelistas.

4.3. Resultados estadísticos

Tabla 13

Análisis de varianza para la variable color

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	0.8742	0.4371	1.17	0.313
Temperatura	1	3.5112	3.5112	9.38	0.003
Tiempo*Temperatura	2	1.2597	0.6299	1.68	0.189
Error	174	65.1200	0.3743		
Total	179	70.7278			

Nota: Los resultados de la (Tabla 13) ANOVA para la variable color muestra una alta significación estadística para el factor temperatura con un valor de (0.003) siendo este valor: $p < 0.05$, lo cual indica que este factor produce efectos en la muestra, la interacción de los factores nos dió un valor de (0.189) lo que nos indica que no influye ya que el valor $p > 0.05$ lo cual significa que estos factores en conjunto no producen efectos en las muestras y se afirma que las variables no están asociadas o correlacionadas.

Tabla 14

Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura, confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
90°C	90	4.17938	A
80°C	90	3.90000	B

Nota: Los resultados obtenidos en la (Tabla 14) con el análisis Tukey realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de color, para determinar la mejor temperatura de extracción, se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A este conformado el T3 (90°C) y el grupo B está conformado por T2 (80°C) como podemos ver estos tratamientos no comparten el mismo grupo, esto quiere decir que, existe diferencias significativas. Los resultados nos muestran que una temperatura de 90°C presenta mayor aceptabilidad con respecto al color con un puntaje de (4.17), siendo superior estadísticamente al tratamiento con 80°C que obtuvo un puntaje de (3.90).

Tabla 15*Análisis de varianza para la variable olor*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	1.5119	0.7560	1.40	0.249
Temperatura	1	3.5377	3.5377	6.56	0.011
Tiempo*Temperatura	2	0.2267	0.1134	0.21	0.811
Error	174	93.7930	0.5390		
Total	179	98.9944			

Nota: Los resultados de la (Tabla 15) ANOVA para la variable olor muestra una alta significación estadística para el factor en estudio temperatura de extracción de pectina con un valor de (0.011) puesto que $p < 0.05$, lo cual indica que este factor produce efectos en la muestra; la interacción del tiempo y temperatura de extracción de pectina no influye ya que el valor obtenido fue de (0.811) valor de $p > 0.05$ esto significa que estos factores en conjunto no producen efectos en las muestras y se afirma que las variables no están asociadas o correlacionadas.

Tabla 16*Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura, confianza de 95%*

Temperatura	N	Media	Agrupación
90 °C	90	4.03599	A
80 °C	90	3.75556	B

Nota: Los resultados obtenidos en la (Tabla 16) con el análisis Tukey realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de olor, para determinar la mejor extracción de pectina, para ello se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A está conformado por el T3 (90 °C) y el grupo B está conformado por T2 (80°C); ambos tratamientos no comparten los dos grupos, por tanto, existe diferencia significativa. Los resultados nos muestran que a 90 °C de extracción con un valor de (4.03) puntos presenta mayor aceptabilidad con respecto al olor, siendo superior estadísticamente a la temperatura de 80°C que obtuvo una media de (3.75) puntos en la escala de Likert.

Tabla 17*Análisis de varianza para la variable sabor*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	2.751	1.3757	2.11	0.125
Temperatura	1	10.837	10.8371	16.60	0.000
Tiempo*Temperatura	2	2.152	1.0758	1.65	0.196
Error	174	113.626	0.6530		
Total	179	129.311			

Nota: Los resultados de la (Tabla 17) ANOVA para la variable sabor muestra una alta significación estadística para temperatura de extracción de pectina ya que muestra un valor de (0.000) siendo $p < 0.05$, lo cual indica que este factor influye en la muestra, generando efectos en el análisis sensorial sobre el factor sabor, la interacción de los factores no influye ya que su valor fue de (0.196) siendo $p > 0.05$ lo cual significa que estos factores en conjunto no producen efectos en las muestras y se afirma que las variables no están asociadas o correlacionadas.

Tabla 18*Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura de extraccion, confianza de 95%*

Temperatura	N	Media	Agrupación
90 °C	90	4.12416	A
80 °C	90	3.63333	B

Nota: Los resultados obtenidos en la (Tabla 18) con el análisis Tukey realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de sabor, para determinar la mejor temperatura de extracción de pectina, se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A está conformado el T3 (90 °C) y el grupo B está conformado por T2 (80 °C), estos dos tratamientos no comparten el mismo grupo, por tanto, significa que, existe diferencias significativas, siendo 90°C la mejor temperatura de extracción debido a que presenta mayor aceptabilidad con respecto al sabor con un puntaje de 4.12, siendo superior estadísticamente al tratamiento con 80°C con un puntaje de 3.63.

Tabla 19*Análisis de varianza para la variable consistencia*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	0.578	0.2888	0.41	0.662
Temperatura	1	18.963	18.9632	27.14	0.000
Tiempo*Temperatura	2	10.440	5.2198	7.47	0.001
Error	174	121.582	0.6987		
Total	179	151.244			

Nota: Los resultados de la (Tabla 19) ANOVA para la variable consistencia muestra una alta significación estadística para el factor en estudio temperatura de extracción con un valor de (0.000) debido a que $p < 0.05$, lo cual indica que este factor produce efectos en la muestra, la interacción de los factores influye ya que presentan una alta significación estadística se observa que el valor de $p = 0.001$ siendo menor a 0.05 lo cual significa que estos factores en conjunto producen efectos en las muestras y se afirma que las variables están asociadas o correlacionadas.

Tabla 20*Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura de extracción, confianza de 95%.*

Temperatura	N	Media	Agrupación
90°C	90	4.08261	A
80°C	90	3.43333	B

Nota: Los resultados obtenidos en la (Tabla 20) con el análisis Tukey realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de consistencia, para determinar la mejor temperatura, se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A este conformado el T3 (90°C) y el grupo B está conformado por T2 (80°C), se observa que ambos tratamientos no comparte el mismo grupo, esto quiere decir que, existe diferencias significativas, siendo 90°C la temperatura ideal para la extracción de pectina con una consistencia aceptable con un puntaje de 4.08, siendo superior estadísticamente a los demás tratamientos.

Tabla 21

Prueba de HSD tukey para la interacción (Tiempo y Temperatura de Extracción de pectina) confianza 95%

Tiempo*Temperatura	N	Media	Agrupación
40 min * 90°C	29	4.24138	A
50 min * 90°C	30	4.20000	A
60 min * 80°C	30	3.83333	A B
60 min * 90°C	31	3.80645	A B
40 min * 80°C	30	3.30000	B C
50 min * 80°C	30	3.16667	C

Nota: Los resultados obtenidos en la (Tabla 21) con el análisis Tukey realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de consistencia, y determinar la mejor combinación de los niveles de los factores en estudio, se les agrupo en tres grupos A, B y C; las combinaciones (80°C * 60 min y 90°C * 60 min) comparten los grupos A y B, asimismo en la combinación (80°C * 40 min) comparte los grupos B y C lo cual indica que en estas combinaciones no existe diferencias estadísticas; caso contrario ocurre con las combinaciones (90°C * 40 min, 90°C * 50 min y 80°C * 50 min) las cuales no comparten grupos por lo tanto, existe diferencias estadísticas, por otro lado las dos primeras son las combinaciones con media más alta, pero la combinación (90°C *40 min), presenta mejor combinación con 4.24 de puntaje para la consistencia, este tratamiento presenta significación estadística, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos.

Tabla 22

Análisis de varianza para la variable grado de esterificación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	1873.3	936.6	7.67	0.004
Temperatura	2	1668.9	834.4	6.84	0.006
Temperatura*Tiempo	4	970.4	242.6	1.99	0.140
Error	18	2197.3	122.1		
Total	26	6709.8			

Nota: en la (Tabla 22) ANOVA muestra los resultados obtenidos para la variable grados de esterificación de pectina en muestras de tuna, se observa que los factores en estudio tiempo y temperatura de extracción

presentan alta significación estadística puesto que $p < 0.05$, ello indica que estos factores producen efectos en la muestra, la interacción de los factores no influyen en los grados de esterificación de la pectina ya que el valor de $p > 0.05$ lo cual significa que estos factores en conjunto no producen efectos en las muestras, entonces se afirma que las variables no están asociadas o correlacionadas.

Tabla 23

Pruebas de HSD tukey para el factor tiempo de esterificación, confianza de 95%

Tiempo	N	Media	Agrupación
60 min.	9	67.8556	A
40 min	9	52.8311	B
50 min.	9	48.3889	B

Nota: Los resultados de la (Tabla 23) obtenidos con el análisis Tukey realizada con el objetivo de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de grado de esterificación, para determinar el mejor tiempo de extracción de pectina, se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A este conformado el tratamiento de 60 min y el grupo B está conformado por los tratamientos 40 min. y 50 min. estos tratamientos no presentan diferencias estadísticas entre sí, pero si con el tratamiento de 60 min. siendo estadísticamente superior y mejor tratamiento con una media de 67.86 de grados de esterificación.

Tabla 24

Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura de esterificación, confianza de 95%

Temperatura	N	Media	Agrupación
90 °C	9	66.9722	A
70 °C	9	53.9200	A B
80 °C	9	48.1833	B

Nota: Los resultados obtenidos de la (Tabla 24) con el análisis Tukey realizada con el objetivo de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de grados de esterificación, para determinar la mejor temperatura de extracción de pectina, se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A este conformado el tratamiento de 90 °C y 70 °C el grupo B está conformado por los tratamiento 70 °C y 80 °C, solo el tratamiento de 70° C comparte grupo con los dos tratamientos, por lo tanto, no presenta diferencias significativas con los tratamiento de 90 y 80 °C, pero estos tratamientos no comparten grupo entre sí, por ello se deduce que estos tratamientos son diferentes estadísticamente. Siendo 90 °C la temperatura que presenta mayor grado de esterificación con una media de 66.97, indicando que es estadísticamente superior

a los demás tratamientos. El tratamiento de 80 °C es el que menor grados de esterificación presenta con una media de 48.18.

Tabla 25

Análisis de varianza para la variable rendimiento

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tiempo	2	0.000385	0.000193	6.50	0.008
Temperatura	2	0.000363	0.000181	6.13	0.009
Tiempo*Temperatura	4	0.000081	0.000020	0.69	0.610
Error	18	0.000533	0.000030		
Total	26	0.001363			

Nota: Los resultados de la (Tabla 25) ANOVA para la variable rendimiento expresado en porcentaje muestra alta significación estadística para los factores en estudio temperatura y tiempo de extracción de pectina puesto que sus valores son menores $p < 0.05$, lo cual indica que estos factores producen efectos en las muestras, la interacción de los factores no influye ya que el valor de $p > 0.05$ lo cual significa que estos factores en conjunto no causan efectos en las muestras, es decir, las variables no están asociadas o correlacionadas.

Tabla 26

Pruebas de HSD tukey para el factor tiempo de extracción, confianza de 95%

Tiempo	N	Media	Agrupación
40 min.	9	26.7 %	A
50 min.	9	24.4%	A
60 min.	9	17.8 %	B

Nota: Los resultados obtenidos en la (Tabla 26) con el análisis Tukey realizada con el objetivo de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de sólidos solubles, para determinar el mejor tiempo de extracción de pectina, se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A este conformado el tratamiento de (40 min. y 50 min) el grupo B está conformado por el tratamiento de (60 min). Los tratamientos del grupo A no presentan diferencias estadísticas debido a que comparten el mismo grupo, el tratamiento con 60 min. no comparte el mismo grupo con tratamientos los anteriores, esto significa que, existe diferencias significativas. La media más alta se ubicó en 40 min con un (26.7 %) estadísticamente superior a los demás tratamientos.

Tabla 27*Pruebas de HSD tukey para el factor temperatura de extracción, confianza de 95%*

Temperatura	N	Media	Agrupación
70 °C	9	25.6%	A
80 °C	9	25.5%	A
90 °C	9	17.8%	B

Nota: Los resultados obtenidos en la (Tabla 27) con el análisis Tukey realizada con el objetivo de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de rendimiento, para determinar la mejor temperatura de extracción de pectina, se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A este conformado el tratamiento de 70 °C y 80 °C el grupo B está conformado por el tratamiento de 90 °C. Los tratamientos del grupo A no presentan diferencias estadísticas debido a que comparten el mismo grupo, el tratamiento con 90 °C no comparte el mismo grupo con los tratamientos anteriores, esto significa que, existe diferencias significativas. La media mas alta se ubicó en: 25.6 % 70 °C es estadísticamente superior a los demás tratamientos.

Tabla 28*Análisis de varianza la variable sólidos solubles*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo	2	0.08222	0.04111	0.52	0.605
Temperatura	2	0.03556	0.01778	0.22	0.802
Tiempo*Temperatura	4	0.33556	0.08389	1.05	0.408
Error	18	1.43333	0.07963		
Total	26	1.88667			

Nota: Los resultados de la (Tabla 28) ANOVA para la variable solidos solubles muestra que no hay significación estadística para los factores en estudio temperatura y tiempo de extracción, se observa que todos lo valores son mayores que 0.05 $p > 0.05$, lo cual indica que estos factores no influyen en la cantidad de solidos solubles en las muestras, de igual manera la interacción de los factores no producen efectos ya que presentan baja significación estadística se observa que el valor de $p > 0.05$ lo cual significa que estos factores en conjunto no producen efectos en las muestras y se afirma que las variables no están asociadas o correlacionadas.

Tabla 29*Análisis de varianza para la variable humedad*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor P
Tiempo	2	9.064	4.5320	3.97	0.037
Temperatura	2	4.065	2.0324	1.78	0.197
Tiempo*Temperatura	4	3.959	0.9897	0.87	0.503
Error	18	20.546	1.1415		
Total	26	37.634			

Nota: La (Tabla 29) ANOVA muestra los resultados obtenidos para la variable contenido de humedad de pectina en muestras de tuna, se observa que el factor en estudio tiempo de extracción con un valor de (0.03) present una alta significación estadística puesto que el valor $p < 0.05$, ello indica que este factor genera efectos sobre el contenido de humedad en la muestra, la interacción de los factores con un valor de (0.50) no influyen en el contenido de humedad de la pectina ya que el valor $p > 0.05$ lo cual significa que estos factores en conjunto no producen efectos en las muestras, entonces se afirma que las variables no están asociadas o correlacionadas.

Tabla 30*Pruebas de HSD tukey para el factor tiempo de extracción, confianza de 95%*

Tiempo	N	Media	Agrupación
50 min.	9	8.59889	A
40 min.	9	8.11889	A B
60 min.	9	7.20222	B

Nota: Los resultados obtenidos en la (Tabla 3) con el análisis Tukey realizada con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre los promedios de contenido de humedad, para determinar el mejor tiempo de extracción de pectina, se le agrupo en dos grupos A y B, en donde el grupo A este conformado el tratamiento de 50 y 40 min el grupo B está conformado por los tratamientos 40 y 60 min, solo el tratamiento de 40 min. comparte grupo con ambos tratamientos, por lo tanto, no presenta diferencias significativas con los tratamientos de 50 y 60 min., pero estos tratamientos no comparten grupo entre sí, por ello se deduce que estos tratamientos son diferentes estadísticamente. Siendo 50 min. el tiempo de extracción que presenta mayor contenido de humedad con una media de 8.60, indicando que es estadísticamente superior a los demás tratamientos. El tratamiento de 60 min. es el que menor contenido de humedad se obtuvo con una media de 7.20.

CAPÍTULO V

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

- Se determinó que el mayor grado de esterificación fue (74.8) a (60 minutos x 90°C), el menor grado de esterificación fue (40.3) a (50 minutos x 70°C) la categoría de las pectinas obtenidas fueron de “Alto Metoxilo” todas con porcentaje de esterificación (> 50 %).
- Se determinó que el mayor porcentaje de rendimiento fue (3.17%) a (50 minutos x 70°C) y el menor porcentaje de rendimiento fue (1.64%) a (60 minutos x 90°C).
- Se realizó un promedio general para sólidos solubles de todas las muestras de pectina, dando un valor promedio de (4.5 °Brix).
- Se determinó un mayor contenido de humedad con un valor de (9.65%) a (50 minutos x 70°C) y el menor contenido de humedad fue (6.51%) a (60 minutos x 80°C).
- En los resultados sensoriales la muestra de mermelada de durazno elaborada con pectina de cáscaras de tuna con mayor aceptabilidad sensorial fue la que se elaboró con pectina extraída a (60 minutos x 90°C) la cual obtuvo un puntaje de 471.
- Se determinó que la investigación contribuye al aprovechamiento de las cáscaras de tuna como residuo, generando una economía circular, mitigando aspectos ambientales.

5.2. Recomendaciones:

- Realizar un estudio aplicando mayores temperaturas y tiempos de extracción en pectina extraída de cáscaras de tuna para evaluar el efecto que causa en el % rendimiento y GE de la misma.
- Emplear otros métodos de extracción de pectina de cáscaras de tuna para comparar con los resultados de GE, % de rendimiento, sólidos solubles y humedad, obtenidos en la presente investigación.
- Realizar más evaluaciones fisicoquímicas de calidad de pectina extraída de cáscaras de tuna mediante análisis de cenizas, peso equivalente, metoxilo, tiempo de gelificación, viscosidad relativa, espectros de infrarrojo y minerales calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na).
- Capacitar a los productores de tuna para que utilicen un manejo más inocuo y de calidad para recolectar las cáscaras, buscando así desarrollar una alternativa de fabricación de un subproducto a base de las cáscaras descartadas y convertirlas en la pectina, estableciendo así un punto de partida para la generación de una nueva industria en la región que traiga consigo más oportunidades de trabajo y desarrollo, mejorar la calidad de vida de las personas que estarían inmersas en esta nueva industria.

CAPÍTULO VI

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adomako, D. (2002). “*Cocoa pod husk pectin*”. En: phytochemistry, Vol. 11 pp. 1145-1148
- Ávila, M. (2009). “*Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de maracuyá (Passiflora Edulis) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia*”. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- Baltazar, R. et al. 2013. “*Optimización de las condiciones de extracción de pectina a partir de cáscara de limón francés (Citrus medica) utilizando la metodología de superficie de respuesta*”. Tesis Ing. Trujillo, Perú, UNT. 13 p.
- Badui, S. (2006). “*Química de los alimentos*”. 4a ed. Pearson Educación. Pp. 45 – 60. México. DF.
- Bustamante, G. (2019). “*Evaluación del rendimiento en la extracción de pectina de tuna (Opuntia ficus Indica)*” Universidad Nacional Cajamarca – Perú. Pp. 10 – 47.
- Barbera, J. (2013). “*Vodka de leche*”. Obtenido de Vodkas.net: es.vodkas.net/artículo/black-cow-el-vodka-de-leche. Madrid – España. Pp. 25 – 28.
- Belitz, H. Grosch, W. y Schieberle, P. (2009). “*Food Chemistry. 4th Edition, Springer-Verlag*”, Berlin, Pp.1070.
- Benzon, T. (2008). “*Efectos de ingesta de la Tuna sobre la Glicerina en ayunas en pacientes diabéticos. U.N.S.A*”. Arequipa – Perú- Pp. 78 – 80.
- Bravo, M; Franco, C, y Evelyn, I. (2015). “*Comparación de la pectina obtenida a partir del aprovechamiento de las cáscaras de banano y cacao por el método de hidrólisis ácida*”. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8938> Cali – Colombia. Pp. 46 – 49.
- Cáceres, K. y Rivas, M. (2004). “*Comparación del poder de gelificación de la pectina comercial con pectina extraída de la cáscara de naranja variedad valencia*”. Universidad de El Salvador, facultad de química y farmacia, san salvador, el salvador. Recuperado de: <http://ri.ues.edu.sv/5535/1/10127878.pdf>. El Salvador. Pp. 32.

- Cabarcas, E., Guerra, A. y Henao, C. (2012). “*Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción*”. [Tesis de grado para optar el título de ingeniero químico]. Fac de Ingeniería Química: Universidad de Cartagena. Pp. 90.
- Campos, F. (2017). “*Implantación de un sistema de gestión de la seguridad alimentaria fssc 22000 en una industria de fabricación de mermeladas*”. Estremadura – España. Pp. 35 – 40.
- Ciriminna, R., Chavarria, H, Rodriguez, H y Pagliaro, M. (2015). *Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint*. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 9, 368-377. Madrid – España. Pp. 35 -39.
- Cubero, A. (2002). “*Aditivos Alimentarios*”. En A. M. N. Cubero, Aditivos Alimentarios (págs. 140-143). Artes Gráficas Cuesta, S.A. Madrid – España. Pp. 24.
- D’Addosio, R.; G. Páez; M. Marín; Z. Mármol y J. Ferrer. (2005). “*Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (Passiflora edulis f. flavicarpa Degener)*”. Rev. Fac. Agron., Pp.22 (3), 241-251.
- Dergal, S. (2006). “*Química de los Alimentos*”. En S. B. Dergal, Química de los Alimentos. Pearson Addison Wesley. Chihuahua – México. Pp. 92-97.
- Devia, J. (2002). “*Proceso para producir pectinas cítricas*”. Revista Universidad EAFIT: 29 (enero - marzo). La Habana – Cuba. Pp. 21-29.
- Devia, J. (2003). “*Proceso para producir pectinas cítricas*” En: Revista universidad EAFIT, Numero. 129 pp. 21-30.
- Durán, F. (2008). “*Ciencia, tecnología e industria de alimentos*”. 1 ed. Grupo Latino Editores. Bogotá – Colombia. Pp. 664.
- Ehrlich, R. (2007). “*Methods for making pectin and pectocellulosic products*”. U. S. Patent Orlando – USA. Pp. 734.
- Espinosa, A. y Arellano, M. (2010). “*Extracción de pectina de nopal (Opuntia ficus Indica) por medio ácido aplicando dos niveles de temperatura, tiempo y estados de madurez*”. Ibarra – Ecuador.
- FAO. (2015). “*Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en América Latina y el Caribe: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*”.
- Ferreira, J. (2001). “*Aislamiento y caracterización de las pectinas de algunas variedades de frutos cítricos colombianos*”. Cali – Colombia. Pp. 69.

- Fishman, M.; Chau, H.; Hoagland, P; Ayyad, K. (2000). Characterization of pectin, ash extracted from orange albedo by microwave heating, under pressure. Carbohydrate Research. Minesota – USA. Pp. 34 – 36.
- Flory, P. (2003). *“Principles of Polymer Chemistry”*. Ithaca, Cornell University Press. New York – USA. Pp. 25.
- García, G. y Blaya, S. (2003). *“Química Agrícola”* (Segunda edición ed.). Madrid – España. Aedos, s. a. Pp. 46 – 48.
- Garcia, J. (2009). *“Evaluacion del rendimiento de extracción de pectina en aguas mieles de beneficiados de café procedentes de desmucilaginado mecanico”*. Pdf Consultado el 10 Oct. 2022. En línea: http://ri.ues.edu.sv/2033/1/Evaluaci%C3%B3n_del_rendimiento_de_extracci%C3%B3n_de_pectina_en_aguas_mieles_del_beneficiado_de_caf%C3%A9_procedentes_de_desmucilaginado_mec%C3%A1nico.pdf
- Galeas, L. (2015). *“Diseño de un proceso para la obtención de pectina de la corteza del limón de la variedad Tahití (Citrus Latifolia Tan)”*. [Tesis para optar el título de ingeniería química]. Fac. de ingeniería química y agroindustria: Escuela politécnica nacional. Zaragoza – España. Pp. 72 – 76.
- Garna, H; Mabon, N; Robert, C; Cornet, C; Nott, K; Legros, H; Whathelet, B y Paquot, M. (2007). *“Effect of Extraction Conditions on the Yield and Purity os Apple Pomace Pectin Precipitated but Not Washed by Alcohol”*. Food Chemistry and Toxicology N°72, Pp. 1 – 9.
- Glahn, P. (2001). *“Pectin process and composition”*. U.S. Patent 6,207,194. Patent 6, 159,503.323 (1-4):126–138. Ontario – Canadá. Pp. 91.
- Gaviria, N y Lopez, L. (2005). *“Extracción a escala laboratorio de la pectina del maracuyá y escalado preliminar a planta piloto”*. Universidad Eafit. Medellín – Colombia. Pp. 45 – 50.
- Girbes, T. y JiménezP. (2013). *“Polisacáridos (Pectinas, Inulinas, Fructooligosacáridos y galactooligosacáridos, Hemicelulosas)”* [Material gráfico proyectable]. Valladolid. Valladolid – España. Pp. 86.
- Guidi, A., y Arandia, M. (2010). *“Obtención de pectina a partir de la cáscara de maracuyá mediante hidrólisis ácida”*. Revistas Bolivianas. Obtenido de

- http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2075-89362010000300014&script=sci_arttext. Cali – Colombia. Pp. 12 – 17.
- Granados, D. y Castañeda, A. (2000). “*El nopal*”, Historia, Fisiología, Genética e Importancia Frutícola, Edit. Oaxaca - México. Pp. 24 – 29.
- Herbstreith, Y y Fox, H (2009). “*Regulations for Purity Requirements of Pectins*” [Online].(http://www.herbstreithfox.de/fileadmin/tmp/pdf/qualitaet/HF_Rechtsvorschriften_Reinheit_sanforderungen_en.pdf). Massachussets – USA. Pp. 53.
- Kliemann, E., et. al. (2009) “*Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (Passiflora edulis flavicarpa) using response surface methodology*”. International Journal of Food Science and Technology, Massachussets – USA. Pp. 44(3), 476-483.
- León, D. y J. Riveros. (2014). “*Extracción y Caracterización química de las pectinas de las cáscaras del Maracuyá Amarillo (Passiflora Edulis, Var Flavicarpa Degener), Granadilla (Passiflora Ligularis Juss) y Tumbo Serrano (Passiflora Mollísima 103 H.B.K. Bailey)*”. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico]. Fac Ingeniería Química: Universidad Nacional del Callao – Perú. Pp. 23 – 29.
- Linco, T. (2010), “*Estudio de Genero Opuntia y sus variedades Genéricos*” – Edit. Pasais - Lima – Perú. Pp. 90.
- Liew, S.; Chin, N. y Yusof, Y., (2014). “*Extraction and Characterization of Pectin from Passion Fruit Peels*”. Agriculture and Agricultural Science Procedia, Pp. 2, 231-236.
- López, M. (2013). “*Extracción de pectina de cocona (Solanum Sessiliflorum Dunal) por acidulantes y su caracterización fisicoquímica*”. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial]. Facultad de Ciencias Aplicadas: Universidad Nacional del Centro del Perú. Pp. 67.
- López, N.; et al. (2011) “*Pectina de mango: perspectivas para su extracción*”, Ciencia cierta, Cali – Colombia. Pp. 7(27).
- Lozada, M. (2007) “*Extracción y caracterización reológicas de polisacáridos tipo pectina de la cáscara de tuna (Opuntia spp)*”, Tulancingo de Bravo – Hidalgo.
- Lliuyacc, R. (2018). “*Efecto de la temperatura, tiempo y pH en el rendimiento de extracción de pectina en cáscara de tumbo serrano (Passiflora tripartita l.)*”. Acobamba – Huancavelica – Perú. Pp. 32 – 26.

- Maldonado, Y. y Salazar, S. (2010). “*Extracción de pectina mediante el método de hidrólisis acida en frutos de maushan (Vasconcella Weberbaueri (Harms) V.M. Badillo) en dos índices de madurez provenientes del distrito de San Miguel de Soloco, región Amazonas*”. [Tesis para optar el título de ingeniero agroindustrial]. Fac. de ingeniería agroindustrial: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – Perú. Pp. 88.
- Masmoudi M., Besbes S., Chaabouni M., Robert C., Paquot M., Blecker C., y Attia H. (2008). “*Optimization of pectin extraction from lemon by-product with acidified date juice using response surface methodology*”. En: Carbohydrate polymers. Vol. 74 pp. 185-192.
- Mendoza, L., Jiménez, J., y Ramírez, M. (2017). “*Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cáscaras del fruto de cacao (Theobroma cacao L.)*”. Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica. Madrid – España. Pp. 69.
- Molina, D. (2016). “*Extracción de pectina de frutos amazónicos mediante un proceso asistido por microondas*”. [Tesis para el título de magister en ciencia y tecnología de alimentos]. Fac. de ciencias agrarias; Universidad Nacional de Colombia. Pp. 98 – 100.
- Mueckay, M. (2006). “*Obtención de la pectina a partir de desechos Industriales de maracuyá*”. Tesis Ing. Agr. Guayaquil, CO, Facultad De Ingeniería Agrícola, Universidad Agraria del Ecuador. 45 p. Consultado 22 set. 2014. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos59/obtencion-pectina/obtencionpectina2.shtml>
- Nizama, K. (2015). “*Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de cacao (Theobroma Cacao L.)*”. Piura – Perú. Pp. 35.
- NORMEX. (2002). “*Determinación de acidez titulable en pectinas*”. https://www.colpos.mx/ban_codonormas/nmexicanas/NMX-FF-011-1982.pdf (Accesado el 20 de Noviembre, 2018). Oaxaca – México. Pp. 78.
- Orellana, V. (2011). “*Enciclopedia Vegetal de la Opuntia – TUNA*” -Edit. San segaña- Andalucía - España. Pp. 60.
- Orestes, S. (2009). “*Comportamiento de Mucílago a partir de Tuna en Malestares Estomacales*” Universidad Nacional de San Marcos-Lima – Perú. Pp. 21 – 27.

- Peryamm, H. y Pilgrim, G. (2004). “*Jams, Jellies and Preserves. En: The Chemistry and Technology of Pectin*”. Academic Press. San diego – USA. Pp. 41.
- Puerta, A (2006). “*Extracción de pectina LM de la cáscara de limón (Citrus aurantifolia) por el método electrolítico*”. Memoria para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Quinatúa, M. (2013). “*Estudio de Genero Opuntia y sus variedades Genéricos*”. Lima - Perú. Pp. 78.
- Quispe Condori, C. (2017). “*Obtención de pectina de alto y bajo metoxilo de cáscara de arveja (Pisum sativum), por el método de hidrólisis ácida*”. Universidad Nacional del Altiplano. Perú: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6487/Quispe_Condori_Catherin_Liz.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Puno – Perú. Pp. 46.
- Ramírez, J. (2006). “*Introducción a la Reología de los Alimentos. Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*”. Universidad del Valle. Cali – Colombia. Pp. 1-46.
- Reyes, J. Aguirre, H y Hernández, F. (2005). “*Notas sistemáticas y una descripción detallada de Opuntia ficus-Indica (L.) Mill. (Cactaceae)*”. Agro ciencia. Madrid – España. Pp. 39 (4): 395-408.
- Rinaldo, M. (2006). “*Physicochemical properties of pectins in solution and gel states. In: Pectins and Pectinases*”. J. Visser and A. G. J. Voragen (eds.). Elsevier Science B.V. Amsterdam, The Netherlands. pp:21-33
- Sáenz, C., et al. (2004). “*Utilización Agroindustrial del nopal*”. Vol. 162. Guayaquil - Ecuador. Pp- 18 – 22.
- Seggiani, M., et. al. (2014) “*Effect of different extraction and precipitation methods on yield and quality of pectin*”. International Journal of Science and Technology, Pp. 44, 574-580.
- Sierra, L. y Bolaños S. (2006). “*Diseño de un proceso para la obtención y purificación de pectina de los desechos del beneficio del café*”, Universidad EAFIT, Colombia.
- Schultz, T. (2005). “*Determination of the ester methoxyl content of pectin by saponification and titration; determination of the anhidrouronic acid content by decarboxilation and titration of the liberated carbon dioxide*”, Methods Carbohydrate Chem.; Pp. 5, 189.

- Taibe, C. (2011). *“Importancia de la Pectina como Aditivo Alimentario en la Industria de Alimentos”*. Lima, Perú. Pp. 36 – 39.
- Valencia, P. (2012). *“Aplicación del mucílago de penca de tuna liofilizada como interposición periodo en la recuperación de las características clínicas gingivales post-gingivectomía en pacientes de la clínica odontológica de la U.C.S.M”*. Pp. 83 – 89.
- Van Buren, J. (2001). *“Function of pectin in plant tissue structure and firmness”*. En *The Chemistry and Technology of Pectin*. Walter, R.H. Academic Press. Inc. San Diego. Pp. 1 - 22.
- Vargas, R. y Gonzales, E. (2002). *“Extracción de la pectina a partir de la cáscara de camucamu”*. [Tesis para optar el título de ingeniero químico]. Fac. de ingeniería química y manufacturera: Universidad Nacional de ingeniería. Trujillo – Perú. Pp. 82 – 89.
- Vásquez, V. 2014. *“Diseños Experimentales con SAS”*. Edita CONCYTEX-FONDECYT. Cajamarca, Peru. Pp. 764.
- Veliz, N. (2004). *“Extracción de pectina del níspero y su caracterización (Eriobotrya japónica)”*. [Tesis profesional para optar el título de ingeniero alimentario]. Facultad de Ciencias Agrarias: Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. Pp. 76.
- Wang S., Chen F., Wu J., Wang Z., Liao X., y Hu X. (2005). *“Optimization of pectin extraction assisted by microwave from Apple pomace using response surface methodology”*. En: *Journal of food engineering*. Vol. 78 pp. 693-700.

CAPÍTULO VII

VII. ANEXOS

Anexo 1. Cartilla de Escala Likert (Grado de satisfacción) en muestras de mermelada de durazno con aplicación de pectinas de cáscaras de tuna extraídas usando tres diferentes tiempos y tres diferentes temperaturas:

NOMBRE:**FECHA:**

Instrucciones:

Sírvase evaluar las siguientes muestras de mermelada de durazno, recuerde tomar agua después de cada degustación de cada muestra. Seguidamente marque con una X aquel lugar que con mayor exactitud interpreta la magnitud de agrado o desagrado que le producen las muestras. Se evaluarán los atributos de: color, olor, sabor y consistencia.

Las muestras para mermelada de durazno con aplicación de pectina obtenidas de cáscaras de tuna están codificadas de la siguiente manera:

T_1 , T_2 y T_3

Código de muestra:				
Parámetro:				
VALORES DE ESCALA DE LIKERT				
Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Indiferente o neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1 punto	2 puntos	3 puntos	4 puntos	5 puntos
				

¡Muchas gracias!

Anexo 2.

Tabla 31

Especificaciones oficiales de pureza para pectinas comerciales

Características	Referencias		
	FAO (2008)	FCC (2001)	EEC (2009)
Humedad	max (12%)	max (12%)	max (12%)
Cenizas ácido insolubles	max (1%)	max (1%)	max (1%)
Cenizas totales	-	max (10%)	-
Dióxido de sulfuro	max (50mg/kg)	-	max (50mg/kg)
Metil sulfato de sodio	-	max (0.1%)	-
Metanol, etanol e isopropanol	max (1%)	-	max (2.5%)
Contenido de nitrógeno pectina	max (2.5%)	-	max (2.5%)
Ácido galacturónico	min (65%)	-	min (65%)
Total de anhidrogalacturónico en el contenido de pectina	-	min (70%)	-
Grado de amidación pectina amidada	max (25%)	max (40%)	max (25%)
Grado de esterificación de pectina HM	-	min (50%)	-
Grado de esterificación de pectina LM	max (3%)	max (3%)	max (3%)
Arsénico, ppm	max (3%)	max (3%)	max (3%)
Plomo, ppm	max (10%)	max (10%)	max (10%)
Cobre, ppm	max (50%)	-	-
Zinc, ppm	max (25%)	-	max (25%)
Cobre + zinc, ppm	-	-	max (50%)
Metales pesados	-	max (40%)	-

Fuente: (Puerta, 2006)

FAO: Food and Agriculture Organization

FCC: Food Chemicals Codex

ECC: Environmental Export Council

Anexo 3. Sesión fotográfica

Figura 30

Analisis fisicoquimico en muestras de pectina



Determinación de solidos solubles



Grado de esterificación en muestras de pectina



Porcentaje de rendimiento en muestras de pectina



Determinación de humedad en muestras de pectina

Anexo 5

Figura 31

Evaluación de muestras de pectina – panel sensorial semientrenado

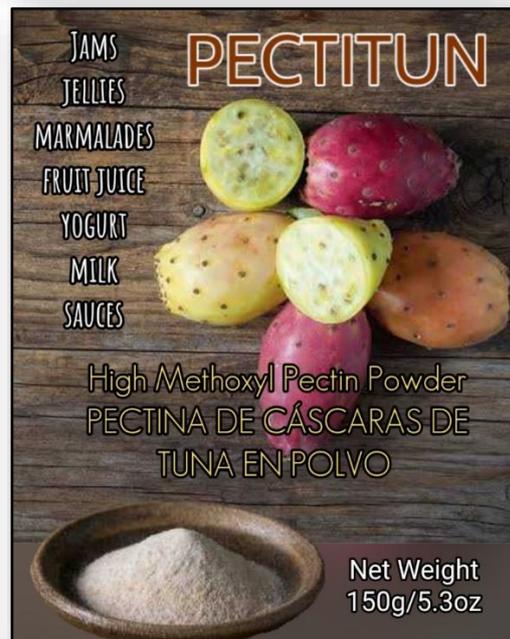


Acondicionamiento de ambiente para la degustación de muestras de mermelada de Durazno elaborada con nuestro producto: “PECTINA DE CÁSCARAS DE TUNA”





Panelistas semientrenados degustando las muestras de mermelada de Durazno elaborada con nuestro producto: PECTINA DE CÁSCARAS DE TUNA



Presentación de pectina de cáscaras de tuna

Diseño de etiqueta