

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



T E S I S

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE PECTINA DE
TUNA (*Opuntia ficus indica*)

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por el Bachiller:

GILMER DÍAZ BUSTAMANTE

Asesores:

Ing. SEGUNDO GUEVARA CIEZA

Ing. LUIS ANTONIO RAMOS QUESNAY

CAJAMARCA - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Cajamarca, a los doce días del mes de diciembre del Año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente 2H -204 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 555-2019-FCA-UNC, Fecha 05 de noviembre del 2019, con el objeto de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: “**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DE PECTINA DE TUNA (*Opuntia ficus indica*)**”, para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**, de la Bachiller: **DÍAZ BUSTAMANTE GILMER**.

A las diecisiete horas y diez minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de quince (15)

Por lo tanto, el graduando queda expedito para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

A las diecinueve horas y cinco minutos, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 12 de diciembre de 2019.

Dr. Segundo Berardo Escalante Zumaeta
PRESIDENTE

M.Sc. Ing. Ricardo Uriol Valverde
SECRETARIO

Ing. M. Sc. José Gerardo Salhuana Granados
VOCAL

Ing. M. Sc. Segundo César Guevara Cieza
ASESOR

Ing. Luis Antonio Ramos Quesnay
ASESOR

DEDICATORIA

Este Trabajo de tesis es dedicado a Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento de lograr mis objetivos.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos, difíciles me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi tía que siempre estará presente acompañándome para poderme realizar.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	iv
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivo específico	3

CAPÍTULO II REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes de la investigación	4
2.2 Bases teóricas	5
2.2.1 Generalidades del Nopal de tuna (<i>Opuntia ficus indica</i>)	5
2.2.1.1 Origen	6
2.2.1.2 Características generales de la especie	6
2.2.1.3 Estructura de la planta	7
2.1.2.4 Composición del nopal	8
2.1.2.5 Valor nutricional	9
2.1.2.6 Usos del nopal	9
2.1.2.7 Aprovechamiento de la pectina de nopal	11
2.3 Definición de términos básicos	11
2.3.1 Pectina	11
2.3.1.1 Origen	12
2.3.1.2 Localización y estructura de las pectinas	12
2.3.1.3 Características químicas	13
2.3.1.4 Grado de esterificación	13

2.3.1.5 Factores que influyen en la formación de geles	15
2.3.1.6 Usos y aplicaciones de la pectina	18
2.3.1.7 Productos sustituyentes	19
2.3.2 Métodos de extracción	19
2.3.2.1 Hidrólisis ácida	20
2.3.2.2 Acción de enzimas	20
2.3.2.3 Medio alcalino	21
2.3.3 Características fisiológicas de la pectina	21
2.3.4 Producción de pectina a nivel nacional e internacional	21

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación geográfica del trabajo de investigación	23
3.2 Materiales	23
3.2.1 Material biológico	23
3.2.2 Material y equipo de laboratorio	23
3.2.3 Otros Materiales	24
3.3 Metodología	24
3.3.1 Trabajo de campo	24
3.3.2 Trabajo de laboratorio	24
3.4 Etapas para el proceso de extracción de pectina	25
3.5 Diagrama de flujo para la obtención de pectina de nopal	35
3.5.1 Factores de estudio	36
3.5.2 Tratamientos	36
3.5.3 Diseño experimental	37
3.5.4 Tamaño de unidad experimental	37
3.5.5 Variable a evaluarse	37
3.5.6 Manejo específico del experimento para pectina de nopal	37
3.5.7 Trabajo de gabinete	38

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis estadístico de variable	39
4.2 Análisis del rendimiento	39
4.2.1 Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de pectina	40

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	47
5.2 Recomendaciones	48

CAPÍTULO VI

6.1 BIBLIOGRAFÍA	49
------------------	----

CAPÍTULO VII
ANEXOS

7.1 Balance de materiales	53
7.2 Glosario	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación taxonómica de la paleta de tuna (nopal)	16
Tabla 2	Composición química del nopal en 100 g de pulpa	17
Tabla 3	Composición nutricional en 100 g. de nopal (<i>Opuntia Ficus Indica</i>)	18
Tabla 4	Contenido de pectina, de algunas materias primas	22
Tabla 5	Factores de estudio	46
Tabla 6	Tratamientos	46
Tabla 7	Diseño experimental	47
Tabla 8	Análisis del rendimiento	49
Tabla 9	Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de pectina	50
Tabla 10	Prueba de TUKEY para variables de rendimiento de pectina	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>)	5
Figura 2:	Estructura química de la pectina	13
Figura 3:	Estructura química de la pectina de bajo metoxilo	14
Figura 4:	Estructura química de la pectina de Alto metoxilo	15
Figura 5:	Materia prima (Nopal) obtenida sulluscocha.	25
Figura 6:	Recepción de materia prima (paleta de tuna)	25
Figura 7:	Muestra la selección de la materia prima de acuerdo al tamaño y/o calidad de la paleta.	26
Figura 8:	Consiste en la eliminación de las espinas de la paleta de tuna	26
Figura 9:	Consiste en eliminar residuos de la paleta de tuna	27
Figura 10:	Eliminación de agentes patógenos de la paleta de tuna con NaClO	27
Figura 11:	Consiste en eliminar el agua después de haber realizado el desinfectado	28
Figura 12:	Cortado de materia prima en trozos pequeños (Cuadritos)	28
Figura 13:	Pesado de la materia prima (pesado 1)	29
Figura 14:	Consiste en triturar en partículas pequeñas	29
Figura 15:	Concentración del nopal triturado a pH 2,5 con ácido cítrico ($C_6H_8O_7$)	30
Figura 16:	Proceso de hidrolisis de acuerdo a los parámetros establecidos	30
Figura 17:	Consiste en separar residuos grandes mediante un tamizador	31
Figura 18:	Concentración en un 20 % de su volumen a 65 °C	31
Figura 19:	Precipitación consiste en agregar etanol en la solución pectina – ácido para formar una precipitación o una solución bifásica	32
Figura 20:	Separación de sólidos en suspensión en un líquido, mediante un Lienzo	32
Figura 21:	Secado a 40 +/- 5°C por 12 horas	33
Figura 22:	Fin de secado	33
Figura 22:	Molienda es la pulverización de las hojuelas obtenidas del horno	33
Figura 23:	Una vez realizado la molienda se obtiene el producto final (pectina)	34
Figura 24:	Pectina envasada	34
Figura 25:	Diagrama de proceso para la elaboración de pectina	35

RESUMEN

La presente investigación ha tenido como objetivo, extraer pectina de paleta de tuna (*Opuntia ficus indica*) y aprovechar de la mejor manera la materia prima existente en las diversas comunidades de los distritos de Namora y Jesús y obtener un producto de calidad y con un buen rendimiento para la industria alimentaria.

El proceso de extracción de pectina se realizó en el Laboratorio de Frutas y Hortalizas de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería En Industrias Alimentarias (2H-109), de la Universidad Nacional de Cajamarca.

La extracción de pectina a partir de paleta de tuna, fue realizada con el método hidrólisis ácida; con ácido cítrico a un pH 2,5 aplicando dos factores temperatura 80 – 90 °C, y tiempo de extracción 30 – 60 min para evaluar el rendimiento de la pectina.

En la fase experimental para la extracción de pectina se usó un arreglo factorial AxB donde el factor A corresponde al factor temperatura de extracción, en °C y factor B tiempo de extracción en min.

La variable evaluada durante el proceso de investigación fue: rendimiento en porcentaje de pectina de paleta de tuna. Las características del experimento fueron tres repeticiones, cuatro tratamientos equivalentes a 12 de unidad experimental conformadas por 1 kg de paleta de tuna en fresco cada una.

Finalizada la investigación se evaluaron los resultados, obtenidos y se determinó que el mejor rendimiento se logra a 80 °C de temperatura y tiempo de extracción de 30 min.

ABSTRACT

The objective of this research has been to extract prickly pear pectin (*Opuntia ficus indica*) and make the best use of the raw material existing in the various communities of the districts of Namora and Jesus and obtain a quality product with a good performance for the food industry.

The pectin extraction process was carried out in the Fruit and Vegetable Laboratory of the Professional Academic School of Food Industry Engineering (2H-109), of the National University of Cajamarca.

Pectin extraction from prickly pear trowel was carried out with the acid hydrolysis method; with citric acid at pH 2.5 applying two factors temperature 80-90 ° C, and extraction time 30-60 min to evaluate the performance of pectin.

In the experimental phase for pectin extraction, an AxB factorial arrangement was used where factor A corresponds to the extraction temperature factor, in ° C and factor B extraction time in min.

The variable evaluated during the investigation process was: yield in percentage of pectin of tuna palette. The characteristics of the experiment were three repetitions, four treatments equivalent to 12 of the experimental unit consisting of 1 kg of fresh tuna palette each.

After the investigation, the results obtained were evaluated and it was determined that the best performance is achieved at 80 ° C temperature and 30 min extraction time.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El nopal (vulgarmente conocido como paleta) es una parte de la planta de la tuna (*Opuntia ficus indica*) es reconocido generalmente como un cultivo frutícola en regiones subtropicales semiáridas alrededor del mundo. A pesar de que se cultiva para dicho propósito solamente en 5 países: Chile, Perú, Italia, México, Sudáfrica y Estados Unidos. En realidad, su mayor importancia radica en la producción de forraje, si se considera la superficie total cultivada y las áreas silvestres en países donde se considera nativa, así como los lugares en donde se ha naturalizado. Las estadísticas mundiales muestran un rango desde un poco menos de 687 000 ha (Nobel, 1994) hasta 2,3 millones ha (De la Cruz, 1994), este último dato incluye poblaciones de baja densidad repartidas a lo largo del norte de México. Y se ha estimado que el 92 por ciento de estos recursos son potencialmente útiles como alimento.

Esta planta es oriunda de América. Actualmente se conoce 258 especies, 100 de las cuales se encuentran en México y se informa que existe más de 10000 ha de plantaciones aptas para la industria alimentaria así como para la obtención de pectina (FAO 2003).

Sáenz, citado por Valencia (2010) mencionó en su investigación que el aprovechamiento integral del nopal por la industria alimentaria comprende la obtención de diversos productos a partir de las pencas, de las tunas. Son ampliamente conocidas las diversas formas de consumo de esta especie, comenzando por la fruta fresca y los nopales como verdura, hasta los jarabes de fruta, tunas deshidratadas, jugos, etc.

En el área de alimentos se ha incrementado el interés por la alta concentración de mucilago encontrado en algunas especies de nopal, la conformación polimera y las propiedades reológicas (viscosidad) de este compuesto sugieren un alto potencial considerable de estas cactáceas como fuente de materia prima en la elaboración de películas comestibles o en la obtención de aditivos mejoradores de la textura en los alimentos (Del Valle et al., 2005).

Estudios realizados por Brack (2003) muestran que la tuna fue cultivada y consumida por los antiguos habitantes del Perú hace más de 2 000 años. En la actualidad en el Perú la provincia con mayor área cultivable de tuna es Ayacucho, mientras que en Cajamarca solo se observa plantaciones rústicas en los cercos o laderas como son en los distritos de Namora y Jesús.

La pectina es un tipo de heteropolisacáridos, una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Son el principal componente de la lámina media de la pared celular y constituyen el 30 % del peso seco de la pared celular primaria de células vegetales. Constituye una parte sustancial de las materias estructurales de los tejidos blandos, como el parénquima de las frutas y de las raíces carnosas Coultate (2002).

Estudios realizados por Belitz et al. (2012) sobre la pectina, menciona que es muy abundante en todo el reino vegetal. Se obtiene comercialmente de la epidermis de los cítricos y del bagazo de las manzanas, que las contienen, respectivamente, en un 20 – 40 % y 10 – 20 % de la materia seca.

Las hojas de nopal excretan un mucílago. Este mucílago constituye un hidrocoloide que podría integrar la oferta de una gran gama de agentes espesantes de amplio uso en la industria de alimentos y farmacéutica, además de que tiene una gran capacidad de absorción de agua. Su poder espesante está siendo actualmente estudiado (Cárdenas et al. Citado por Abraján 2008); con resultados interesantes, por lo que si se mejoran los rendimientos de extracción podría competir con las gomas de gran uso como la goma garrofín, la goma guar u otros agentes espesantes. Una amplia revisión acerca de estos compuestos fue publicada recientemente por Sáenz et al. Citado por Abraján (2008).

En las últimas décadas se ha profundizado los estudios en este mucílago tanto la parte industrial como en la industria alimentaria, es por ello que en la presente tesis se ha investigado, con cuál de los parámetros (Temperatura vs Tiempo) a 80 °C x 30 min y a 90 °C x 60 min se obtiene mayor rendimiento de pectina en nopal (*Opuntia Ficus Indica*). Además sirva como una fuente de consulta para futuras investigaciones más aun sabiendo que la industria de extracción de pectina, está enfocada únicamente en los desechos de cítricos ya sea de industrias de jugos o néctares entre otros, y no se buscan nuevas materias primas de extracción de pectina.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Determinar el mayor rendimiento de extracción de pectina a partir de paleta de tuna (*Opuntia ficus indica*) a diferentes temperaturas y tiempos de extracción.

1.1.2 Objetivo específico

- Determinar el rendimiento de pectina a 80 °C y 30 min de extracción en paleta de tuna (*Opuntia ficus indica*)
- Determinar el rendimiento de pectina a 90 °C y 60 min de extracción en paleta de tuna (*Opuntia ficus indica*)

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Antecedentes de la investigación

La pectina fue aislada por primera vez en 1825 por el químico francés Henri Braconnot. Y el comercio 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. Existen numerosos procesos patentados e investigaciones que conciernen a la obtención de pectinas, y en cada uno de ellos se obtienen productos de diferente calidad, porque sus propiedades y sus posibles aplicaciones dependen considerablemente del método de obtención.

En la Universidad Nacional de Medellín (Colombia) en el año 2009, se presentó una investigación en la cual la actividad solubilizadora de pectina de Protopectinasa-SE, enzima producida por el hongo levaduriforme *geotrichum* fue estudiada utilizando como sustrato albedo del limón (parte interna, blanca y esponjosa de la cáscara) y la protopectina (sustancia péctica insoluble en agua, obtenida del mismo tejido). Bajo condiciones óptimas de reacción se obtuvo rendimientos de 37 y 28 g de pectina/100 g de tejido (base seca) a partir de protopectina y albedo, respectivamente (zapata et. al 2012).

Glahn (2001) citado por Devia (2003), atravez de un proceso convertio la materia prima (cáscara de naranja) en una sal cálcica de la pectina en un medio liquido, para luego secarla, y asi obtener la pectina, que cuando se pone en agua la absorbe para formar particulas estables de un diametro medio equivalente mayor de 100 micrometros.

Para el año 2003, en una investigación realizada en Medellín Colombia en la Universidad EAFIT, se presentó un proceso de producción de pectina a partir de cáscaras de naranja a escala piloto, con extracción por hidrólisis en medio ácido y precipitación con alcohol etílico. El producto obtenido presentó buena apariencia y sus características de gelación son comparables con los productos del mercado internacional (rojas et. al 2003).

Para aprovechar las cáscaras resultantes de la extracción de jugos de fruta de galgal (*Citrus pseudo limón Tan*), una variedad de limón propia de la india, se estandarizó un proceso para la máxima recuperación de las pectinas, considerando varias variables como: tipos de solventes, relación de cáscara/solvente, tiempo de extracción, número de extracciones y tamaño de las partículas de las cáscaras. Se encontró que el mejor solvente fue HCl 0.1N, con una relación de cáscara a ácido 1:10 por un tiempo de extracción de 60 minutos. Se precipitó la pectina con alcohol (etanol) y con cloruro de aluminio, dando mejores resultados el etanol (Attri et. Al 1996)

Se puede obtener pectinas de muy buena calidad a partir de material vegetal aplicándole presión y calentamiento por microondas. Estas pectinas se caracterizan por presentar un alto peso molecular y una buena viscosidad (Fishman 2000, citado por Devia 2003).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Generalidades del nopal de tuna (*Opuntia ficus indica*)



Figura 1 Nopal (*Opuntia ficus indica*)

Es una planta extremadamente tolerante a las altas temperaturas y a la falta de lluvia, adaptada perfectamente a zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvia errática y suelos pobres expuestos a la erosión. Funcionando como cosechas vitales en casos de sequía extrema para humanos y animales. Algunas especies son incluso consideradas como plantas naturalizadas en países como Sudáfrica y Australia, donde las condiciones ambientales son particularmente favorables (FAO 2003).

La Paleta de tuna habitan en las zonas desérticas de EE.UU., México y América del Sur, en Perú y Bolivia. En el Perú se encuentra en la región Andina, donde se desarrolla en forma espontánea y abundante. También se encuentra en la costa, en forma natural y bajo cultivo. Se desarrolla bien con temperaturas entre 12 a 34 °C, con un rango óptimo de 11 a 23 °C y con una precipitación promedio entre 400 a 800 mm (Scheinvar, citado por Aza y Méndez 2011).

2.2.1.1 Origen

La paleta de tuna son originarios de América tropical y subtropical y hoy día se encuentran en una gran variedad de condiciones agroclimáticas, en forma silvestre o cultivada, en todo el continente americano. Además, se han difundido a África, Asia, Europa y Oceanía donde también se cultivan o se encuentran en forma silvestre (Saénz et al. 2006).

2.2.1.2 Características generales de la especie

Estudios realizados por Saénz et al. (2006) señalan que la taxonomía de los nopales es sumamente compleja debido a múltiples razones, entre otras porque sus fenotipos presentan gran variabilidad según las condiciones ambientales, se encuentran frecuentemente casos de poliploidía, se reproducen en forma sexual o asexual y existen numerosos híbridos inter específicos.

Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 ó 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante. Entre ellas se encuentran, como especies cultivadas para producción de fruta: *Opuntia ficus indica* (Uzun, citado por Saénz et al. 2006).

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la paleta de tuna (nopal).

Reino	Vegetal
Subreino	Embryophita
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonea
Subclase	Dialipetalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Genero	Opuntia

Fuente: Barrientos, citado por Abraján (2008).

2.2.1.3 Estructura de la planta

a) El tallo

La tuna es un vegetal arborescente de 3 m a 5 m de alto, su tronco es leñoso y mide de entre 20 a 50 cm de diámetro. En el Perú las variedades más usuales desarrollan portes de aproximadamente 1,5 m a 2 m de altura. El tallo, a diferencia de otras especies de cactáceas, está conformado por un tronco y ramas aplanadas que posee cutícula gruesa de color verde de función fotosintética y de almacenamiento de agua en los tejidos (Robles 2009)

b) Hojas

Son cladodios internos, transformadas en espinas en forma de garra, engrosadas en su base, para defensa; las caducas sólo se observan sobre tallos tiernos. Cuando se produce la renovación de pencas, en cuyas axilas se hallan las aréolas de las cuales brotan las espinas, de aproximadamente 4 a 5 mm de longitud. Las hojas desaparecen cuando las pencas han alcanzado un grado de desarrollo y en cuyo lugar quedan las espinas (Robles 2009)

c) Flores

Son solitarias, situadas en la parte superior de la paleta, de 6 a 7 cm de longitud. Cada a rola produce por lo general una flor, aunque no en una misma época de floración, unas pueden brotar el primer año, otras el segundo y tercero. Las flores se abren a los 35 o 40 días de su brotación. (Robles 2009)

d) Fruto

Son bayas carnosas, de forma elipsoidal, de color y tamaño variable, de cáscara gruesa y presenta aureolas con espinas muy finas; la pulpa es de sabor dulce o ligeramente ácido, contienen numerosas semillas aplanadas (Calzada 1980) citado por Barba 2000.

2.1.2.4 Composición del nopal

Tabla 2. Composición química de la paleta de tuna en 100 g de pulpa.

En 100 g de pulpa	
Humedad	83,8 -91,0
Proteína	0,21-1,60
Grasa	0,09-0,70
Fibra	0,02-3,16
Cenizas	0,40-0,51
Azúcares totales	8,10-14,06
Vitamina C (mg/100 g)	4,1-25,0
β -Carotenos (mg/100 g)	0,53
Ph	6,0-6,5

Fuente: Pimienta, citado por Abraján (2008).

2.1.2.5 Valor nutricional

Tabla 3. Composición nutricional en 100 g. de paleta de tuna (*Opuntia Ficus Indica*)

Porción comestible	78,00
Energía (kcal)	27,00
Proteínas (g)	1,70
Grasas (g)	0,30
Carbohidrato (g)	5,60
Calcio (mg)	93,00
Hierro (mg)	1,60
Tiamina (mg)	0,03
Riboflavina (mg)	0,06
Niacina (mg)	0,03
Ácido ascórbico (mg)	8,00

Fuente: De la Rosa, 2001 citado por Abraján 2008

2.1.2.6 Usos de la paleta de tuna

a) Tuna

El fruto posee un valor nutritivo superior al de otras frutas en varios de sus componentes. 100 g de la parte comestible posee 58 a 66 unidades calóricas, 3 g de proteínas, 0,20 g de grasas, 15,50 g de carbohidratos, 30 g de calcio, 28 g de fósforo y vitaminas (caroteno, niacina, tiamina, riboflavina y ácido ascórbico). Es empleado directamente en la alimentación o para la fabricación de mermeladas, jaleas, néctar, tunas en almíbar, alcoholes, vinos y colorantes (FAO 2006).

b) Alimento para personas

Las pencas tiernas del nopal se preparan en escabeche, salmuera y encurtidos; se cocinan caldos, cremas, sopas, ensaladas, guisados, o en empanadas, huevos, platos fuertes, salsas, "antojitos", bebidas y postres (FAO 2006).

c) Alimentación Animal

Por su parte, las pencas de nopal son un alimento delicioso, tanto cuando se consumen en crudo como ligeramente asadas. También sirven como forraje para el ganado. Contienen proteínas y minerales, como calcio y potasio, en gran cantidad; son ligeramente laxantes, contribuyen a disminuir los niveles de colesterol y de glucosa, facilitan la eliminación de parásitos, sirven como tónico cardíaco (FAO 2006).

d) Hospedero para la producción de grana cochinilla

Es de gran importancia la explotación comercial del nopal porque alberga al insecto *Dactulopius coccus*, "cochinilla del carmín". Este último es cotizado a nivel mundial por el colorante que produce la hembra. Se emplea en alimentos, en la industria cosmética y farmacéutica (FAO 2006).

e) Conservador del suelo

Un producto adicional es el mucílago o goma, obtenible por el prensado de la penca o cladodio. Es una especie muy usada en las prácticas agroforestales, asociado con cultivos con especies agrícolas y/o forrajeras, cercos vivos espinosos barreras vivas para la retención de suelos, protección de taludes contra la erosión y en general como parte de prácticas de protección de suelos (FAO 2006).

f) Propiedades medicinales

Los tallos o pencas sobre todo por la reducción de los niveles de colesterol, triglicéridos, glucosa, resultante del consumo de nopal fresco o deshidratado en polvo, cápsulas, tabletas o té (diabetes, hiperlipidemias) Parte de esas propiedades medicinales se deben al mucílago, pectina o "baba", que es un polisacárido complejo compuesto por arabinosa y xilosa. Las fibras vegetales y los mucílago controlan la producción en exceso de ácidos gástricos y protege la mucosa gastrointestinal (FAO 2006).

g) Cosméticos

Existen diversos productos a base de nopal: shampoo, enjuagues capilares, crema para manos y cuerpo, jabón, acondicionador, mascarilla humectante, crema de noche, gel para el cabello, gel reductor, gel para la ducha, loción astringente, mascarilla estimulante y limpiadora, jabones y pomadas (FAO 2006).

2.1.2.7 Aprovechamiento de la pectina de nopal

Las pectinas son utilizadas ampliamente en la industria de alimentos como agentes hidrocoloides (gomas) gelificantes. La viscosidad que poseen las pulpas se ve influida por la presencia de pectinas y mucílagos. Ambos compuestos están considerados dentro del grupo de los hidrocoloides por su gran capacidad para captar y retener agua, forman parte, a su vez, de la fibra dietética. Estos compuestos, pueden ser utilizados como espesantes en productos alimenticios según (Sepúlved et al, citado por Mencia 2013).

Sepúlved et al, citado por Mencia (2013) menciona que, el nopal es una planta nativa de amplia distribución en zonas áridas y semiáridas de México y el mundo. Las pencas de nopal excretan un mucílago con capacidad de gelificación que ha sido descrito como una pectina.

2.3 Definición de términos básicos

2.3.1 Pectina

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).

2.3.1.1 Origen

La pectina fue descubierta en 1790 cuando Vauquelin encontró primeramente 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 (Belitz et al. 2012).

2.3.1.2 Localización y estructura de las pectinas

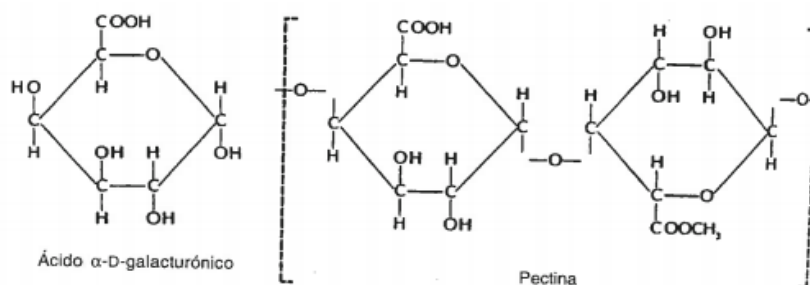
Estudios realizados por Coultate (2002) muestra que las pectinas constituyen una parte sustancial de las materias estructurales de los tejidos como el parénquima de las frutas y de las raíces carnosas. No se sabe con certeza la naturaleza exacta de la pectina tal como se encuentra en los tejidos vegetales.

Tabla 4 Contenido de pectina, de algunas materias primas que son utilizadas para la industria alimentaria.

Origen	Contenido en pectina (%)
Patata	2,5
Zanahoria	10,0
Tomate	3,0
Manzana	5,5
Torta de manzanas (residuos)	17,5
Girasol	25,0
Albedo de agrios	32,5
Fibra de algodón	0,7
Pepitas de limón	6,0
Corteza de limón	32,0
Pulpa de limón	25,0
Melocotón	7,0

Fuente: Navarro y Navarro citado por Gilabert (s.f).

Figura 2. Se Observa la estructura química de la pectina que están formadas por diecisiete monosacáridos diferentes, organizados en distintos polisacáridos, a partir de más de veinte diferentes enlaces, formando una red que los une, agrupados en diferentes tipos de cadena, constituido por ácido urónico, hexosas, pentosas y metilpentosas.



Fuente: (Vaclavik 2002).

2.3.1.3 Características químicas

Estudios realizados por Belitz et al. (2012) sobre una molécula de pectina intervienen tres elementos estructurales: un homogalacturonamo constituido por α -D-GalA unidos por enlaces (1 \rightarrow 4); un galacturonano con distintas cadenas laterales constituidas por apiosa, fucosa, arabinosa y xilosa; y un rammogalacturonano con un esqueleto formado con unidades del disacárido.

El principal componente de la pectina es el ácido galacturónico parcialmente metilado. Algunos azúcares neutrales se encuentran también presentes en la molécula. El porcentaje de unidades de ácido galacturónico que están esterificados con etanol dan el grado de esterificación, lo cual influye en las propiedades gelificantes de la pectina (Belitz et al. 2012).

2.3.1.4 Grado de esterificación

Un factor importante que caracteriza las cadenas de pectina es el grado de esterificación (DE) de los grupos carboxilos de los residuos de ácido urónico con alcohol metílico. Las pectinas probablemente se forman inicialmente en forma altamente esterificada, pero experimentan algo de des esterificación después de insertarse en la pared celular o lámina media (Van Buren, citado por Gilabert s.f).

Hay una amplia gama de grados de esterificación dependiendo de especies, tejido y madurez. En general las pectinas del tejido tienen una gama de grados de esterificación que va del 60 al 90 %.

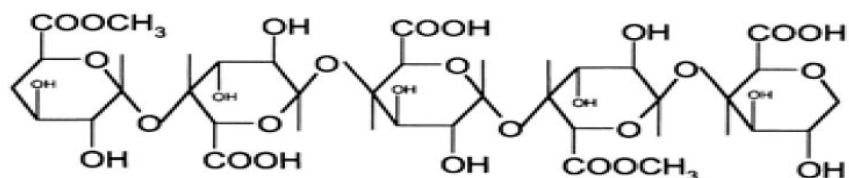
Parece ser que la distribución de los grupos carboxílicos libres a lo largo de las cadenas de pectina es regular y los grupos carboxílicos libres están muy aislados unos de otros (Vries et al, citado por Gilabert s.f).

a) Clasificación según el grado de esterificación

- **Pectinas de bajo metoxilo**

Este tipo de pectinas (**Figura 3**) poseen la mayoría de los grupos carboxilo libres. Son aquellas en las cuales menos del 50 % de los grupos hidroxilo están esterificados con metanol, se estima que solo del 20 % al 40 % de los grupos carboxilo están esterificados. Por lo tanto, la mayoría están disponibles para formar enlaces cruzados con iones divalentes como el calcio. En éste caso la formación del gel ocurre por la formación de enlaces entre los cationes con moléculas de pectina, formando una red tridimensional con los grupos carboxilo de ésta. Los geles se pueden obtener entre pH 1 a 7; el pH no afecta la textura del gel ni el intervalo de sólidos solubles, el cual puede fluctuar entre 0 y 80 %, pero la presencia de calcio (40 a 100 mg) es el factor predominante en la formación del gel (Vaclavik 2002).

Figura 3: Estructura química de la pectina de bajo metoxilo

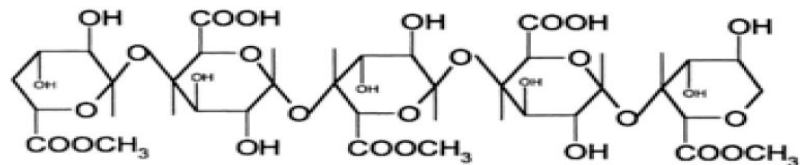


Fuente: Vaclavik (2002).

- **Pectinas de alto metoxilo**

Estudios realizados por Vaclavik (2002) sobre las pectinas (Imagen 4) poseen la mayoría de los grupos carboxilo esterificados, normalmente entre el 50 % al 58 %. Por lo tanto, la mayoría de grupos ácidos no están disponibles para formar enlaces cruzados con iones divalentes. Por lo tanto, estas pectinas no forman geles de esta manera. El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades, en particular, a mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación. Estas pectinas son capaces de formar geles en condiciones de pH entre 2.8 y 3.5, además con un contenido de sólidos solubles (azúcar) entre 60 % y 70 % según (Vaclavik 2002). Las pectinas de alto metoxilo pueden subdividirse en 2 grupos: las de gelificación rápida (Rapidset), o sea menor a 5 minutos con un grado de esterificación con metanol entre el 68 y el 75 %. Y las de gelificación lenta (Slowset), es decir gelifican después de 5 minutos y tienen entre 60 y 68 % de esterificación con metanol (Vaclavik 2002).

Figura 4 Estructura química de la pectina de Alto metoxilo



Fuente: Vaclavik (2002).

2.3.1.5 Factores que influyen en la formación de geles

a) **Materia prima**

La preparación de los productos mínimamente procesados implica operaciones de limpieza, lavado, recortado, rebanado, triturado y otros pasos de procesamiento, muchos de los cuales incrementan la perecebilidad de los vegetales. En el momento de la cosecha de las pencas el pH evoluciona al progresar la madurez la cual puede ser perjudicial para el proceso pero esto se distingue a la *Opuntia ficus* (Alfonso 2010).

b) Temperatura

Cuando se enfría una solución caliente que contiene pectina, las energías térmicas de las moléculas decrecen y su tendencia a gelificar aumenta. Cualquier sistema que contenga pectina, tiene un límite superior de temperatura por encima de la cual la gelificación nunca ocurrirá. Por debajo de esta temperatura crítica, las pectinas de bajo metoxilo gelifican casi instantáneamente mientras que la gelificación de las de alto metoxilo depende del tiempo. En contraste con las pectinas de bajo metoxilo, las de alto, son termo reversible según (Alfonso 2010).

c) Peso molecular de la pectina

El peso molecular de la pectina, relacionado con la longitud de la cadena, es una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en la gelificación de las jaleas. La determinación cuidadosa del peso molecular es difícil, parcialmente debido a la extrema heterogeneidad de las muestras y parcialmente debido a la tendencia de las pectinas a agregarse (Alfonso 2010).

d) pH

La pectina es un ácido con pH de aproximadamente 3,5 un porcentaje alto de grupos ácidos disociados respecto a los no disociados hace la pectina más hidrofílica. Por lo tanto la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al bajar el pH. Esto se hace especialmente evidente en pectinas de alto metoxilo, las cuales requieren normalmente un pH por debajo de 3,5 para gelificar (Alfonso 2010).

e) Precipitación

Las pectinas, después de haber sido sometida a una ebullición prolongada en agua pura o ligeramente acidulada, es fácilmente precipitada por adición de alcohol o acetona, que actúan como agentes deshidratantes, en forma de una suspensión gelatinosa, que volverá a ser soluble en agua.

Cuando la precipitación se logra por adición de alcohol o acetona en más de un 60 % la pectina precipita en forma de hilos, fibras y masas esponjosas (Alfonso 2010).

f) Solubilidad

Una vez lograda la precipitación de la pectina, ésta puede ser secada y convertida en polvo siendo el tamaño de la partícula un factor importante. La solubilidad de la pectina será rápida cuando muestre un alto grado de dispersión, de lo contrario al adicionarle agua tenderá a formar grumos viscosos por fuera y secos por dentro, por esta razón es recomendable que la pectina se mezcle siempre antes con un poco de azúcar de 5 - 8 veces su peso (Alfonso 2010).

g) Degradación

Estudios realizados por Alfonso (2010) de las pectinas se dice que una vez liberadas de sus enlaces con la celulosa pueden degradarse según dos procesos diferentes:

- **Despolimerización**

El calentamiento en medio ácido o la acción de hidrolasas (pectinasas, pectino-hidrolasas, etc.) originan escisiones de las cadenas en trozos más cortos. En la despolimerización sólo se produce la ruptura de los restos de ácido galacturónico no metilados (Alfonso 2010).

- **Desmetilización**

Durante el madurado de las frutas ocurren variaciones en la metilación, es decir con la maduración disminuye el grado de metilación (Alfonso 2010).

h) El azúcar y otros solutos similares

Estos hidratos de carbono, tienden generalmente a deshidratar las moléculas de pectina en solución cuantos más sólidos en solución hay menos agua disponible para actuar como disolvente de la pectina y por lo tanto la tendencia a gelificar se favorece. En valores de sólidos solubles superiores al 85 % el efecto deshidratante es tan fuerte que la gelificación de la pectina es muy difícil de controlar. Las pectinas de alto metoxilo gelifican a valores de sólidos solubles por encima del 55 % (Alfonso 2010).

Para cada valor de pH en el cual la gelificación es óptima y un rango de pH en el cual la pectina se puede gelificar. Las pectinas de bajo metoxilo pueden gelificar a cualquier valor de sólidos solubles. La temperatura de gelificación disminuye al disminuir el contenido de sólidos solubles (Alfonso 2010).

i) Los iones calcio

Al contrario que las pectinas de alto metoxilo, las pectinas de bajo metoxilo desesterificadas requieren bastante calcio y un rango estrecho de dicho catión para una óptima gelificación. Las pectinas de bajo metoxilo amidadas muestran más flexibilidad a este respecto. Para ambos tipos de pectina, un incremento en la concentración de calcio implica un aumento de la fuerza del gel y también un aumento de la temperatura de gelificación (Alfonso 2010).

2.3.1.6 Usos y aplicaciones de la pectina

La pectina es un aditivo esencial en la producción de muchos alimentos por sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes. Las diversas aplicaciones crean la necesidad de diferentes tipos de pectina comercial (IPPA, 2014):

- Las pectinas de gelificación rápida se usan tradicionalmente en mermeladas.
- Las pectinas de gelificación lenta se utilizan en salsas, jaleas, productos de panadería, confitería, etc.
- Las pectinas estabilizantes se emplean en productos proteínicos ácidos, tales como, yogurt, suero y bebidas de soya.
- Las pectinas de bajo metoxilo se utilizan en diversos productos bajos en azúcar, preparaciones de fruta para yogurt, geles de postres y salsas. También, se pueden utilizar en productos altamente azucarados de alta acidez como conservas que contengan frutas ácidas.

2.3.1.7 Productos sustituyentes

Los principales sustituyentes de la pectina (IPPA, 2014):

- Agar-agar
- Carragenina
- Goma de zapote
- Gelatinas sin sabor
- Almidón modificado.

2.3.2 Métodos de extracción

A escala industrial el más utilizado es la hidrólisis ácida. Por esta razón se prueba este método con algunas modificaciones hasta obtener un proceso sencillo y acorde a nuestro medio, así se trabaja utilizando varios ácidos como el sulfúrico, clorhídrico tartárico y cítrico. La ventaja principal de la hidrólisis es su alto rendimiento a comparación de otros métodos de extracción que poseen buena calidad pero bajo rendimiento aparte de ser de muy alto costo de producción. Actualmente se conocen varios métodos de obtención de pectina (Calvo s.f):

2.3.2.1 Hidrólisis ácida

Estudios realizados por Studies on (2009) sobre el método más conocido para obtener pectina es la hidrólisis ácida, el cual consiste en someter al sustrato a una cocción en medio ácido, posterior filtración y purificación, con lo cual se logra separar la pectina presente del resto de compuestos de las cáscaras, para luego secarla y molerla hasta tener un fino polvo listo para comercializarlo. A la materia prima se las somete a una hidrólisis ácida, Generalmente se proponen valores de temperatura para la extracción de pectina con HCl que varían de 85 a 90 °C, pH de 1,6 a 2,0 y tiempos de extracción de 30 a 60 min.

La pectina a partir de corteza de limón se lo puede extraer con ácido nítrico a pH 1,8 y 80°C durante 60 minutos. Se indica que pectina a partir de corteza de limón se puede extraer con ácido nítrico a pH 1,8 y 80°C durante 60 minutos, además se señala que la influencia de la temperatura, tiempo de extracción y pH sobre las "unidades de gelificación" en pectina de naranja se extraen a aún pH de 1,2; 1,6 y 2 y temperaturas de 75, 85, y 95°C a 20, 40 y 60 Min respectivamente (Pagán 1996).

2.3.2.2 Acción de enzimas

Las pectinas pueden separarse de forma natural de los tejidos vegetales denominada protopectina cuando la fruta está extremadamente madura y cuando las enzimas actúan naturalmente sobre estas. Las enzimas pécticas se pueden clasificar dependiendo del tipo de actividad que catalizan, en dos grupos: las desesterificantes (pectina esterasas) y las despolimerizantes. Las primeras catalizan la hidrólisis de los ésteres metílicos del ácido poligalacturónico, liberando metanol al medio y convirtiendo las pectinas en ácidos pécticos. Las segundas son un grupo más numeroso de enzimas capaces de desdoblar las cadenas de ácido poligalacturónico de diverso grado de esterificación en unidades de menor tamaño (Granados, citado por Gilbert s.f).

2.3.2.3 Medio alcalino

En el proceso de extracción de pectina en medio de un proceso alcalino utilizando hexametáfosfato como secuestrante. Secuestrar cationes (calcio, magnesio, cobre, hierro, etc) de tal forma que no precipitan en forma de costras o de deposiciones, sino que quedan en disolución. A estos efectos también se puede utilizar el citrato sódico, fluoruro sódico o el EDTA. Con este método se puede obtener pectinas de buena calidad debido a que estos elementos forman compuestos como pectatos de calcio que mejoran la solubilidad de la pectina pero son de bajo rendimiento según (Zapana 2014).

2.3.3 Características fisiológicas de la pectina

Se trata de un hidrato de carbono que no se absorbe en el intestino, y que forma parte de lo que llamamos fibra soluble. La pectina tiene la particularidad de retener agua y se le atribuyen efectos benéficos en caso de diarrea ya que hace más lento el tránsito intestinal. El principal efecto indeseable del que se ha acusado a las pectinas es el de que inhiben la captación de metales necesarios para el buen funcionamiento del organismo, como el calcio, zinc o hierro. Respecto a esta cuestión, se puede afirmar que no interfieren en absoluto con la captación de ningún elemento, con la posible excepción del hierro. En este último caso, los diferentes estudios son contradictorios. La ingestión de pectinas reduce por otra parte la concentración de colesterol en la sangre, especialmente del ligado a las lipoproteínas de baja y muy baja densidad, por lo que la ingestión de pectinas puede actuar también como un factor de prevención de esta enfermedad (Mueckay 2006).

2.3.4 Producción de pectina a nivel nacional e internacional

El Perú fue el tercer exportador mundial de cáscara de limón en 2016, lo cual se explica porque los envíos crecieron 343% entre el 2008 y 2016, según datos de la SUNAT.

Silvateam produce una gama completa de pectinas, comercializadas bajo la marca Aglupectin®: pectinas de alto metoxilo, pectinas de bajo metoxilo, tanto convencionales como amidadas. La empresa realiza pectinas de calidad superior en

su nueva planta situada en la localidad de Rende, en la provincia de Cosenza, utilizando como materia prima cáscaras de cítricos (limón, limas y naranjas) con una capacidad productiva de 2.000 t/año.

Industrias Ragar S.A de C.V: Vendemos **Pectina** y estamos ubicados en Viena 71 - Int. 303 Col. Del Carmen, México, Ciudad de México C.P. 04100. México.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación geográfica del trabajo de investigación

El trabajo de investigación se llevó a cabo con la obtención del paleta de tuna, en el Caserío Laguna Sulluscocha, Distrito de Namora y Provincia de Cajamarca, para luego ser trasladado a las instalaciones del Laboratorio de Frutas y Hortalizas de la Escuela Académico Profesional de Industrias Alimentarias (2H-109) de la Universidad Nacional de Cajamarca para luego mediante el proceso de hidrólisis ácida se haga la extracción de pectina.

3.2 Materiales

3.2.1 Material biológico

- Nopal o paleta de tuna, proveniente del distrito de Namora

3.2.2 Material y equipo de laboratorio

- Materiales de vidrio
- Buretas
- Mufla
- Mortero
- Pinzas
- Jarras 1 l
- Guantes (térmicos ,caucho ,industriales)
- Envases para muestras
- Cuchillos
- Ollas
- Agitador
- Filtro o colador
- Balanza
- Licuadora industrial

- Cocina
- Secador
- Termómetro
- Cronómetro
- Molino manual

3.2.3 Otros Materiales

- Lapiceros
- Algodón
- Mascarilla
- Calculadora
- Cámara digital.
- Papel A4
- Impresión

3.3 Metodología

3.3.1 Trabajo de campo

Para realizar la investigación sobre extracción de pectina, se obtuvo la paleta de tuna del caserío de Laguna Sulluscocha, distrito de Namora y Provincia de Cajamarca, luego fue trasladado al Laboratorio de Frutas y Hortalizas de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería En Industrias Alimentarias (2H-109), de la Universidad Nacional de Cajamarca, donde se realizó el trabajo de Investigación.

3.3.2 Trabajo de laboratorio

El trabajo de Investigación se llevó a cabo en el laboratorio de frutas y hortalizas de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería En Industrias Alimentarias (2H-109), de la Universidad Nacional de Cajamarca para determinar el rendimiento de pectina en los parámetros establecidos en los objetivos.

3.4 Etapas para el proceso de extracción de pectina

a) Materia prima

En la investigación las pencas o nopal (*Opuntia ficus indica*) se obtendrá del distrito de Namora caserío de Laguna Sulluscocha, preferentemente las hojas a utilizarse debe ser sana, para obtener un buen rendimiento y están en estado de madurez que fueron tierno (8 meses a 1 año), la corteza no presentó magulladuras y partes en estado de descomposición; esto permite tener un buen rendimiento y buena calidad de pectina según (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 5. Materia prima (Nopal) obtenida sulluscocha.

b) Recepción

Esta etapa consiste en la recepción de la materia prima una vez cosechada, y esta se realizó en los laboratorios de Frutas y Hortalizas de Ingeniería En Industrias Alimentarias (2H-109), de la Universidad Nacional de Cajamarca controlando calidad de la paleta de tuna, donde se realizó la investigación (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 6. Recepción de materia prima (paleta de tuna)

c) Selección

La selección es la acción o efecto de elegir cosas entre otras. Las hojas recibidas se las seleccionó en forma manual utilizando guantes de hule, se desecharon aquellas picadas, cortadas, oxidadas y en mal estado con la finalidad de no alterar la calidad del producto final (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 7: Muestra la selección de la materia prima de acuerdo al tamaño y/o calidad de la paleta.

d) Desespinado

El desespinado es la eliminación de las espinas para facilitar su manejo y que no interviene en el proceso de extracción. Las hojas de nopal una vez seleccionadas se las desespino con un cepillo de cerdas suaves y guantes industriales cuidando de no dañar la epidermis para evitar contaminación y su posterior oxidación (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 8: Consiste en la eliminación de las espinas de la paleta de tuna

e) Lavado

Etapa por el cual se elimina residuos presentes en la materia prima. Las hojas de nopal se lavaron manualmente con abundante agua, con el fin de eliminar suciedad y otros residuos que alteren el proceso de extracción (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 9: Consiste en eliminar residuos de la paleta de tuna

f) Desinfectado

El desinfectado proceso por el cual se eliminan los agentes patógenos que puedan alterar el producto final, y esto se hará sumergiendo las hojas de nopal en disolución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 0,1 por ciento, con la finalidad de eliminar la mayoría de la flora bacteriana (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 10: Eliminación de agentes patógenos de la paleta de tuna con NaClO

g) Ecurrido

Proceso mediante el cual se elimina el exceso de agua. Las hojas de nopal desinfectadas se colocaron en bandejas con mallas al ambiente para escurrir toda el agua y tiene como finalidad no alterar el valor del pH que es un factor importante en el proceso de hidrólisis (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 11: Consiste en eliminar el agua después de haber realizado el desinfectado

h) Cortado

Es la operación que reduce el tamaño de la materia prima en trozos más pequeños facilitando así su manejo. Para su efecto se utilizó un cuchillo, las hojas se cortaron, a un tamaño de 1 centímetro aproximadamente, para facilitar el licuado (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 12: Cortado de materia prima en trozos pequeños (Cuadritos)

i) Pesado 1

Operación que nos permite determinar el valor de la masa total de la materia prima. Para su efecto se utilizó una balanza, se pesó la masa del nopal cortado con la finalidad de establecer el peso inicial para permitir cuantificar el rendimiento al final del proceso de extracción (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 13: Pesado de la materia prima (pesado 1)

j) Triturado

Proceso por el cual se obtiene una sustancia más homogénea. El nopal cortado se trituró en una licuadora industrial y se recogió en ollas de aluminio con el fin de que el nopal sea más homogéneo y facilite la separación de la pectina de los demás compuestos por medio de la hidrólisis (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 14: Consiste en triturar en partículas pequeñas

k) Extracción

Es el proceso que nos permite separar sustancias químicas de los tejidos vegetales por medio de hidrólisis, al nopal triturado se añade ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) hasta un pH de 2,5 utilizando un potenciómetro, luego se someterá a calor a la solución de nopal – ácido mediante una cocina industrial en ollas de aluminio a temperaturas y tiempos establecidos con un termómetro y un cronometro y una agitación constante con la finalidad de que el calor se transfiera a toda la solución (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 15: Concentración del nopal triturado a pH 2,5 con ácido cítrico ($C_6H_8O_7$)



Figura 16: Proceso de hidrolisis de acuerdo a los parámetros establecidos

l) Filtrado

Es la operación que consiste en la separación de los residuos grandes y pequeños de la solución. La solución extraída se coló mediante 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 procedió a medir el volumen y la viscosidad de la solución para su posterior concentración (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 17: Consiste en separar residuos grandes mediante un tamizador

m) Concentración

La concentración de una disolución es la proporción o relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolvente. La solución (pectina - ácido) se concentró 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 que no supere los 65 °C ya que la pectina es susceptible a degradación a altas temperaturas (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).

En esta etapa se tiene mucho cuidado ya que al no tener un sistema continuo dificulta mantener la temperatura constante.



Figura 18: Concentración en un 20 % de su volumen a 65 °C

n) Precipitación

Un precipitado es el sólido que se produce en una disolución por efecto de una reacción química o bioquímica. Para esto se utilizó un volumen del 80 % de etanol por el volumen de solución obtenida en la etapa de concentración, se añadió el etanol en la solución pectina – ácido contenido en las ollas de aluminio, al cabo de una hora de precipitación se formó una solución bifásica. La fase superior se caracterizó por su textura gelatinosa compuesta principalmente de pectina, la fase inferior constituida por etanol, trazas de pectina y otros compuestos solubles en este (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 19: Precipitación consiste en agregar etanol en la solución pectina – ácido para formar una precipitación o una solución bifásica.

o) Filtración

Se denomina filtración al proceso de separación de sólidos en suspensión en un líquido mediante un medio poroso. La solución bifásica se filtró en un lienzo de poros finos con una agitación constante para facilitar proceso y disminuir el tiempo de filtrado (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 20: Separación de sólidos en suspensión en un líquido, mediante un lienzo.

p) Secado

El secado es un método de conservación de alimentos consistente en extraer el agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción. La pasta obtenida por el filtrado se secó utilizando un secador continuo controlando a 40 ± 5 °C por 12 horas, 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 (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 21: Secado a 40 ± 5 °C por 12 horas **Figura 22:** Fin de secado

q) Molienda

El término molienda es de uso común, se refiere a la pulverización y a la dispersión del material sólido. Las hojuelas de pectina se molieron utilizando un molino manual procurando hacerlo de forma más rápida por cuanto la pectina es hidrocópica es decir absorbe humedad del ambiente. Terminado esta etapa se determinó las variables de proceso (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 22: Molienda es la pulverización de las hojuelas obtenidas del horno

r) Pesado 2

Operación que nos permite determinar el valor de la masa total del producto final. Una vez finalizada la etapa de molienda se procedió a pesar la pectina obtenida para evaluar el rendimiento en base al peso del nopal cortado para su efecto se utilizó una balanza gramera digital (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 23: Una vez realizado la molienda se obtiene el producto final (pectina)

s) Envasado

El envasado es un método para conservar alimentos. La pectina pesada se embazó en frascos de polipropileno adecuados para este tipo de extractos que aíslan la humedad del producto, debido a que la pectina tiene un carácter higroscópico (Muñoz 2011, Zapana 2014 y Mueckay 2006).



Figura 24: Pectina envasada

3.5 Diagrama de flujo para la obtención de pectina de nopal

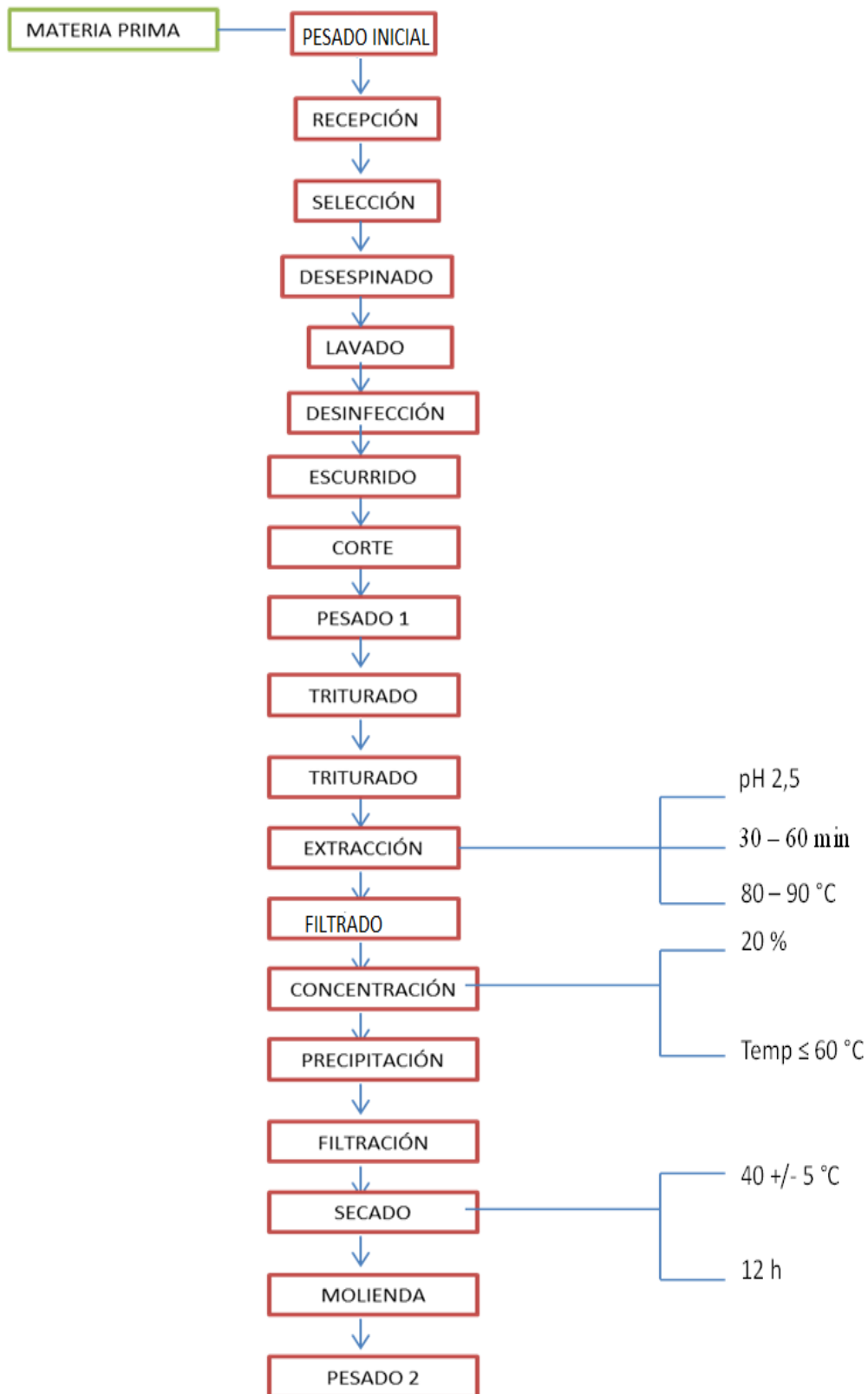


Figura 25. Diagrama de proceso para la elaboración de pectina (<http://pectina.blogspot.pe/2010/07/diagrama-de-flujo-para-la-obtencion-de.html>)

3.5.1 Factores de estudio

Tabla 5. En la presente tesis, se procede al estudio de los factores A y B temperatura y tiempo de extracción respectivamente donde se evalúa el rendimiento de la pectina.

FACTOR A	
Temperatura de extracción	
A1	80 °C
A2	90 °C
FACTOR B	
Tiempo de extracción	
B1	30 min
B2	60 min

3.5.2 Tratamientos

Los tratamientos en estudio (**Tabla 6**), fueron el resultado de combinar dos factores de temperatura (80° C y 90° C) y dos tiempos de extracción (30 y 60 minutos). Como producto de la combinación se obtuvo cuatro tratamientos y cuatro factores de estudio, estos con tres repeticiones cada uno para obtener 12 repeticiones.

Tabla 6. Tratamientos

TRATAMIENTOS	FACTORES	
T1	A1	B1
T2	A1	B2
T3	A2	B1
T4	A2	B2

3.5.3 Diseño experimental

El trabajo de investigación se llevó a cabo con diseño en bloques completos al azar (D.B.C.A), 4 tratamientos y 3 repeticiones en el que **A** corresponde a la temperatura de extracción y **B** al tiempo de extracción exposición; lo que hace 12 Unidades experimentales.

Tabla 7. Se realiza 3 repeticiones por cada tratamiento, haciendo un total de 12 unidades experimentales.

Características del experimento	
Repeticiones	3
Tratamientos	4
Unidades experimentales	12

3.5.4 Tamaño de unidad experimental

Cada unidad experimental constó de 1 kg de nopal paleta de tuna en fresco.

3.5.5 Variable a evaluarse: se evaluó la variable cuantitativa

- Las variables independientes: son temperatura y tiempo
- La variable dependiente son: Rendimiento de pectina en gramos

3.5.6 Manejo específico del experimento para pectina de nopal

a) Rendimiento (gramos de pectina)

El rendimiento es una proporción entre el peso obtenido y el peso inicial por cien por ciento, se determinó mediante una balanza gramera digital, con la finalidad de cuantificar el rendimiento de la pectina obtenida después de la molienda en base al peso del nopal cortado esto se realizó para todos los tratamientos utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento (\%)}: \frac{w_2}{w_1} \times 100$$

Dónde: W1 = Peso nopal cortado

W2 = peso de la pectina obtenida

3.5.7 Trabajo de gabinete

Los datos obtenidos fueron tabulados y analizados 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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se presentan los resultados de la investigación realizada sobre “Evaluación del rendimiento en la extracción de pectina de paleta de tuna (*Opuntia ficus indica*)” con la finalidad de comprobar factores, variable e hipótesis planteada, realizándose el siguiente análisis estadístico.

4.1 Análisis estadístico de variable diseño en bloques completos al azar (D.B.C.A)

Para realizar el análisis estadístico, se consideró los siguientes factores: temperatura de extracción y tiempo de exposición. Además se tomó en cuenta la siguiente variable cuantitativa, evaluada al inicio, durante y al final del proceso de extracción de la pectina: rendimiento.

4.2. Análisis del rendimiento

Para esta variable se tomó datos al inicio y final del proceso de extracción. Se presentaron los valores del rendimiento para cada tratamiento en la etapa final una vez terminada la moliendo.

Tabla 8. Valores del rendimiento de pectina después de la molienda.

Tratamientos	Repeticiones			Suma	Media
	I	II	III		
A1B1	0,5619	0,5627	0,5614	1,6860	0,5620
A1B2	0,4731	0,4737	0,4738	1,4206	0,4735
A2B1	0,4517	0,4518	0,4520	1,3556	0,4519
A2B2	0,3567	0,3569	0,3571	1,0707	0,3569

4.2.1. Análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento de pectina (g) paleta de tuna.

Los resultados del análisis de varianza (**Tabla 9**), del análisis de varianza indica significación mínima para los tratamientos, factor A (temperatura de extracción), factor B (tiempo de extracción). Esto demuestra, que la temperatura y el tiempo influyen en el rendimiento de la pectina.

El coeficiente de variación ($CV = 0.08454 \%$), un valor bajo que indica que el experimento ha sido conducido en forma eficiente y se considera como aceptable y que por lo tanto los datos experimentales son confiables. Los efectos principales del método de extracción factor (A) que es temperatura, factor (B) tiempo de extracción influyen en el rendimiento de la pectina el cual se obtiene un $R^2 = 99.99 \%$ esto evidencia, la correlación que existe entre los datos.

Con los datos obtenidos en la **Tabla 9**, para Bloques se concluye que F- Valor es menor que F tabular para un nivel de significancia al 5%, por ende la hipótesis nula es aprobada siendo así que las medias de todos los bloques son iguales. Mientras que para tratamientos se concluye que el F- valor es mayor que el F tabular para un nivel de significancia al 5%, acá se puede concluir que al menos una media de los tratamientos es diferente.

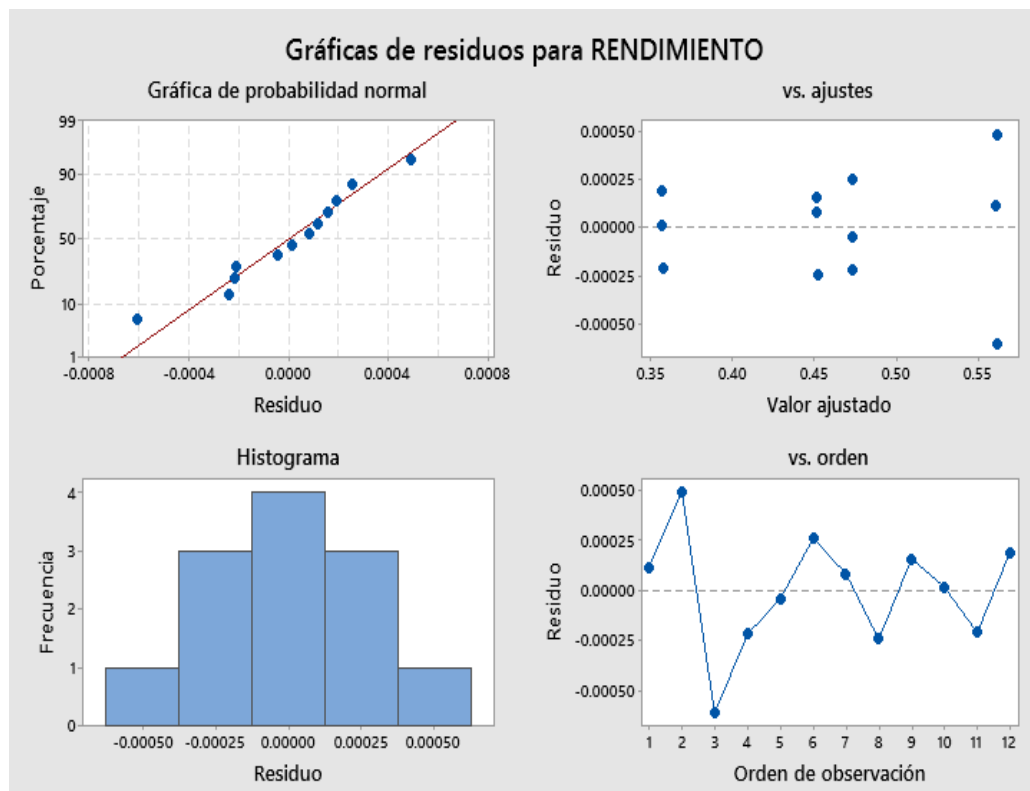
Tabla 9. Análisis de varianza de rendimiento de pectina de la paleta de tuna (*Opuntia ficus indica*).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	$F_{tabular}$		Pr>F
					0,05	0,01	
Bloques	2	0,00000036	0,00000018	1,19	5,143	10,93	0,3670
Tratamientos	3	0,06383671	0,02127890	140044	4,76	9,78	<.0001
Error	6	0,00000091	0,00000015				
Total	11	0,06383799					

R- Cuadrado = 0.999986

CV= 0.08454 %

$\bar{y}_{..} = 0.461067$



En la (**Figura 26**) de residuos se observa que los puntos está cerca la línea lo que indica que los procedimientos fueron correctos y podemos seguir analizando los datos obtenidos.

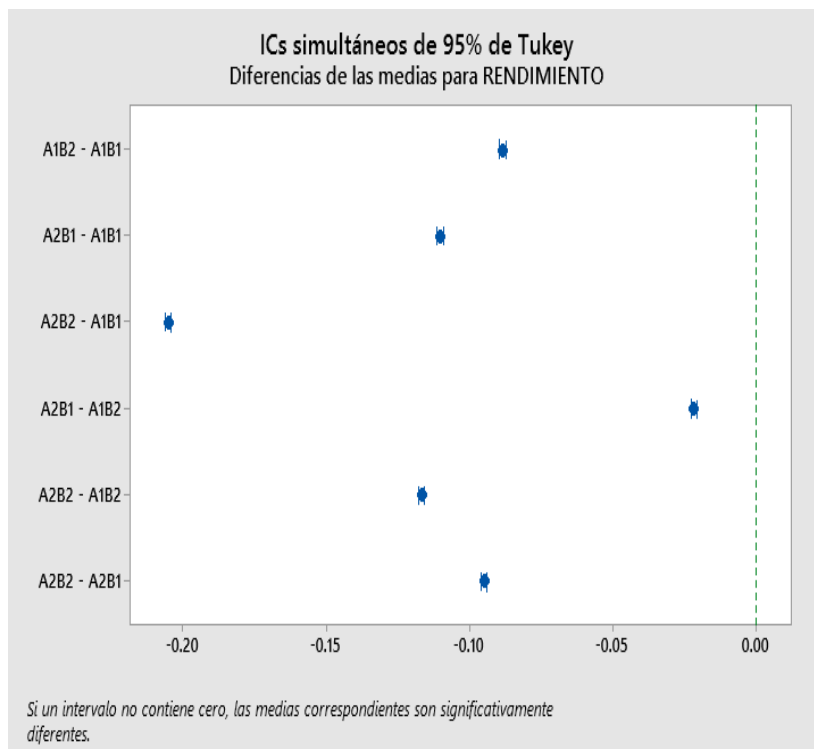
Al realizar la prueba de Tukey a un nivel de confianza de 95 % para la tabla de medias y la gráfica de intervalo, según muestra en el (**Tabla 10**), la prueba

Tukey para tratamientos, se observa que existen 4 rangos y estos son *significativamente diferentes*, el tratamiento que ocupa el rango “A” es el tratamiento A1B1 y los tratamientos A1B2, A2B1, A2B2 donde estadísticamente son diferentes.

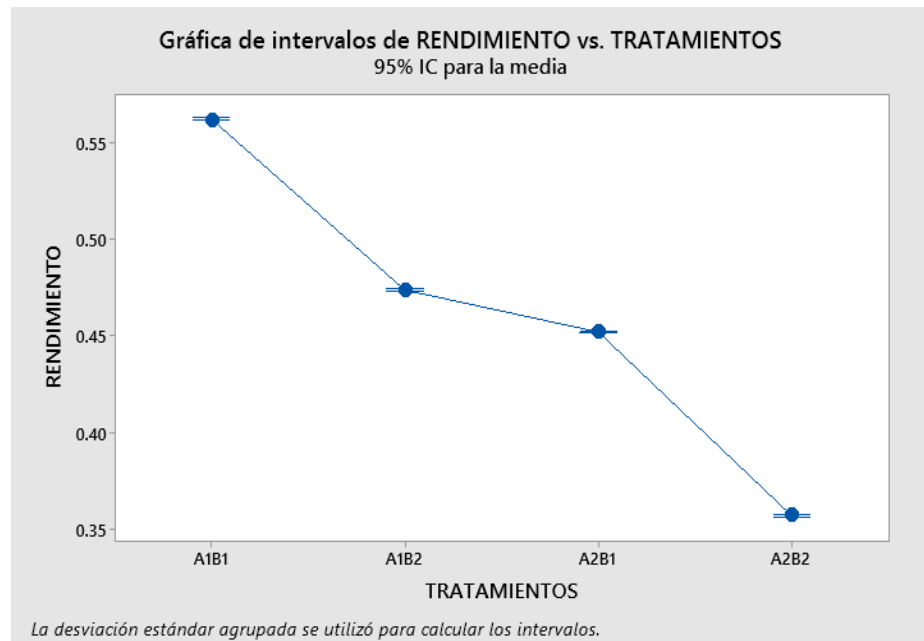
La mejor media se encuentra en el tratamiento A1B1 (temperatura de extracción = 80 ° C y tiempo = 30 min.) cuyo valor es de 0,562 g, siendo este el mejor tratamiento, indicando que la temperatura y tiempo influyen en el rendimiento de extracción de pectina.

Tabla 10. Prueba de TUKEY para variables de rendimiento al final del proceso de extracción después de la molienda.

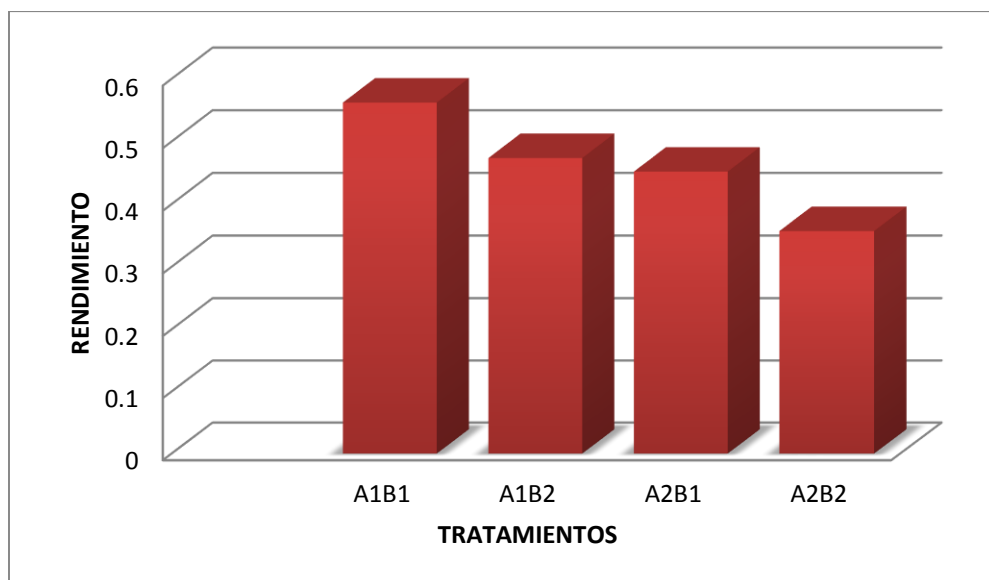
Tratamientos		Rendimiento	Rangos
		Medias (g)	
T1	A1B1	0.5620000	A
T2	A1B2	0.4735333	B
T3	A2B1	0.4518333	C
T4	A2B2	0.3569000	D



En la (**Figura 27**) de ICs simultáneos de 95% de Tukey, se puede apreciar que los tratamientos A1B2 – A1B1 tienen los valores más altos, también concluyéndose que los valores son significativamente diferentes.



En la (**Figura 28**), intervalos de Rendimiento vs. Tratamientos al 95% IC para la media, se observa que la A1B1 Se obtiene el mayor rendimiento, determinándose así que la temperaturas y tiempos influyen en el rendimiento.



Como se puede apreciar en la (**Figura 29**), que el mejor Tratamiento es el A1B1 a una Temperatura de 80 °C y Tiempo de 30 min, con un promedio de rendimiento de alto, el cual difiere de los tratamientos A1B2, A2B1 y A2B2 comprobándose así la hipótesis,

Pilnik y Voragen, citado por García 2009, manifiesta que son varias las formas de determinar las sustancias pécticas en el material vegetal, y se divide fundamentalmente los métodos que aplican la extracción del material péctico y su posterior análisis; es así, que debido a la naturaleza heterogénea de las sustancias pécticas, los resultados varían de un método a otro, estado de la pectina, el tipo de tejido vegetal, entre otros; en la presente investigación el emplear el método de hidrólisis acida para la extracción de pectina utilizándose como agente de extracción el ácido cítrico a pH constante de 2,0. Obteniéndose así un mejor rendimiento en el Tratamiento es el A1B1 a una Temperatura de 80 °C y Tiempo de 30 min, con un promedio de rendimiento de alto, el cual difiere de los tratamientos A1B2, A2B1 y A2B2 comprobándose así la hipótesis. Se puede hacer comparaciones con las siguientes investigaciones.

Mueckay (2006) demostró que la temperatura y el tiempo influyen en el rendimiento de la pectina, ya que a temperaturas altas estas se degradan; la cual se puede comprobar con esta investigación que a 80 °C y Tiempo de 30 min el rendimiento es mucho mayor a los otros tratamientos.

El mayor rendimiento de pectina en naranja, fue a 70 °C y tiempo de 40 min, mientras que a 70 °C y 46 min es menor Según (García, JI.2009).

Durán y Honores (2012) determinaron que la temperatura de hidrolisis mayores a 98 °C y tiempos de hidrólisis mayores a 90 min, 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.

García (2009) determinó que el mayor rendimiento de pectina fue 2.2 g/litro de agua miel de sólidos gruesos, se obtuvo bajo las condiciones: temperatura a 70 °C, pH a 3,5 y tiempo a 40 min tanto en los ensayos experimentales como en las predicciones del modelo ajustado a partir del análisis estadístico.

Estudios realizados por Baltazar et al. (2013) sobre tiempos de extracción constante, y del pH de 1 a 1,5 y temperatura moderada entre 70 y 80 °C producen un incremento del rendimiento de la pectina extraída, y grado de

esterificación ya que se incrementa la hidrólisis de los enlaces de la protopectina, que pasa a pectina soluble. El máximo porcentaje de pectina extraída corresponde a una muestra obtenida a 73 °C, pH 1,3 y tiempo de 60 minutos, lo que corrobora la tendencia descrita anteriormente y corresponde a una muestra extraída a temperatura moderada y pH bajo de todas las condiciones ensayadas.

Ávila J. y Cipiran V. (1996) reportaron para extracción de pectina de membrillo que a tiempos superiores a los 60 minutos se observa una disminución del rendimiento de pectina debido a que la hidrólisis fue completada y empieza una degradación de la pectina al ser expuestas a una temperaturas altas por espacio de tiempos mayores.

Según Muñoz (2011), obtuvo los mejores valores con los tiempos de 90 y 45 min. Estos resultados son concordantes obtenidos con mi siguiente ensayo. El tiempo de extracción no ejerció un efecto significativo sobre la variable de respuesta. Sin embargo el rendimiento disminuyó cuando el tiempo de extracción fue inferior a 60 minutos, lo cual pudo deberse a que se requiere un mínimo de tiempo durante la extracción, para que se provoque la liberación de las pectinas presentes en el sustrato.

Según Braverman, en su libro “Introducción a la bioquímica de los alimentos”, las moléculas de pectina son hidrófilas debido al gran número de grupos polares que contienen. La función del agua en el gel de pectina de frutas es disolver el ácido y el azúcar, ambos indispensables para la formación de gel y para dispersar la pectina. Las moléculas de pectina se dispersan en el agua para formar sales coloidales estabilizadas por las cargas negativas que resulten de la ionización de los grupos carboxilos.

Según Dikes F. en su publicación Química de los Carbohidratos, el ácido es indispensable para proporcionar iones de hidrógeno. Estos en teoría neutralizan las cargas lo suficiente como para que las moléculas de pectina dispersas ya no se repelen entre sí ya que los protones del ácido desplazan el equilibrio entre los grupos ionizados y los no ionizados hacia los grupos menos ionizados.

Según Cheftel, en su libro *Introducción a la Bioquímica y Tecnología*, de las pectinas más altamente multiladas requieren azúcar para la formación de un gel. Entre menos mutilada sea la pectina, menor es la cantidad de azúcar para formar un gel, siempre que los iones divalente estén presentes.

El fenómeno de la gelificación está estrechamente ligado a la acidez activa, expresada como pH, es decir, la concentración de iones hidrógenos libres.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- En el presente experimento se comprobó que los factores; temperatura y tiempo de extracción influye en el rendimiento de la pectina obtenida a partir de paleta de tuna. Esto comprueba la Hipótesis, que 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.
- También se comprueba la hipótesis que a temperatura y tiempos mínimos es mayor el rendimiento de pectina con la prueba de Tukey donde la mejor media se encuentra en el tratamiento A1B1 (temperatura de extracción = 80 °C y tiempo = 30 min.) cuyo valor es de 0,5620000 g, siendo este el mejor tratamiento.
- Con respecto a los factores en estudio, se concluye que para obtener un buen rendimiento es muy apropiado realizar en los parámetros de temperatura de 80 ° C y tiempo de extracción de 30 minutos.
- Finalmente se confirmó la hipótesis planteada es decir, que la temperatura y tiempo de extracción influyen significativamente en el rendimiento de la pectina.

5.2 Recomendaciones

Entre las recomendaciones planteadas durante esta investigación son las siguientes:

- Se recomienda que la medición del pH no se realice al inicio del proceso sino después del corte y triturado, debido a que el nopal tiende a oxidarse y alterar el valor del pH que afectaría a la fase de hidrólisis.
- El ajuste de pH al valor de 2 se debe realizar lo más preciso posible por cuanto se derivan de esta los factores en estudio en especial la temperatura y el tiempo de extracción.
- Se recomienda investigar sobre otro método de extracción de pectina y comparar el rendimiento con el método aplicado en esta investigación.
- Se recomienda que se realice al menos 2 veces el proceso de filtrado para obtener un buen rendimiento y reducir las pérdidas. Para optimizar este proceso es necesario que se caliente la solución y se adicione nuevamente etanol con el fin de que se separe la pectina restante.
- Debido que la composición química del nopal difiere de una variedad a otra se hace necesario realizar una caracterización de la materia prima para obtener datos reales para la investigación.
- Durante la etapa de precipitado, el consumo de alcohol es considerable, por lo que se recomienda analizar una eficiente recuperación del mismo.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- Abraján, MA. 2008 Efecto Del Método De Extracción En Las Características Químicas Y Físicas Del Mucílago Del Nopal (Opuntia Ficus-Indica) Y Estudio De Su Aplicación Como Recubrimiento Comestible. Tesis Doc. Cienc. Valencia, ES. Universidad Politécnica de Valencia Departamento de Tecnología de Alimentos. 244 p. Consultado el 22 de set. 2014. Disponible en <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/3794/tesisUPV2920.pdf?sequence=1>

- Anónimo, 2009. Análisis de alimentos “Control de calidad de los alimentos”. Pdf. Consultado 18 set. 2014. Disponible en <http://alimentoatps.blogspot.com/2009/06/analisis-de-alimentos.html>

- Barba, JC.2000. Alternativa de Utilización de la tuna (Opuntia ficus indica) como Alimento Balanceado para Animales. Tesis Ing. Agr. Cajamarca, PE, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cajamarca, PE.71 p.

- Brack, A. 2003. Perú: diez mil años de domesticación. Lima, PE, Bruño SA. 160 p.

- Coultate, T.2007. Manualde química y bioquímica de los alimentos. JF. Salguero. 3 ed. Zaragoza, Acribia S.A. 1000 p.

- Durán, F.2008. Ciencia, tecnología e industria de alimentos. 1 ed. Bogotá, CO, Grupo Latino Editores. 664 p.

- FAO. 2006. Estudio FAO Utilización agroindustrial del nopal Producción (en línea). Consultado 12 set. 2014. Disponible en <http://www.captura.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133743/Utilizacion-agroindustrial-del-nopal.pdf?sequence=1>

- FAO. 2003. Estudio FAO Producción Y Protección Vegetal Data (en línea). Consultado 11 set. 2014. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s00.htm#Contents>

- Gilabert, JP. s.f. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Pdf. Consultado 17 de set. 2014. Disponible en <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8370/jpagan.pdf?sequence=315>

- IPPA. 2001. Hechos sobre pectin (en línea). Consultado 23 set. 2014. Disponible en http://www.ippa.info/what_is_pectin.htm

- Mamani, PL; Ruiz, R; Veiga, MD. 2011. Pectina: Usos Farmacéuticos y Aplicaciones Terapéuticas. Consultado el 23 set, 2014. Disponible en: <http://www.analesranf.com/index.php/aranf/article/viewFile/1165/1338>

- Mueckay, MA. 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/obtencion-pectina2.shtml>

- MINAG. 2011. Más de 170 plantas de tuna forman parte del Banco Nacional de Germoplasma en Ayacucho (en línea). Consultado 12 set. 2014. Disponible en <http://www.minag.gob.pe/portal/notas-de-prensa/notas-de-prensa-2011/5365-mas-de-170-plantas-de-tuna-forman-parte-del-banco-nacional-de-germoplasma-en-ayacucho>

- Robles, JE. 2008. Cultivo de tuna (Opuntia Ficus Indica). Trujillo, PE. Gerencia Regional Agraria. Consultado el 11 set. 2014. Disponible en <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>

- Sánchez, D; Aguilar, CN; Contreras, JC; Nevárez, GV. 2011. Moléculas pécticas: extracción y su potencial aplicación como empaque, Mexico. *Tecnociencia Chihuahua* 5(2): 1-7. Consultado 12 set. 2014. Disponible en http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v5n2/data/Moleculas_pecticas_extraccion_y_su_potencial_aplicacion_como_empaque.pdf

- Untiveros, GS. 2003. Obtencion y caracterización de pectina de alto y bajo metoxilo de la manzana variedad pachamac, Perú. *Soc.Quím* 69(3):155-158. Consultado 12 set. 2014. Disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualdata/publicaciones/rsqp/n3_2003/a06.pdf

- Vaclavick, VA.2002. Fundamentos de ciencia de los alimentos. Trad. I. Jaime. 1 ed. New York DC, US, Acribia S.A. 798 p.

- Zapana, GR. 2014. Extracción De Pectina A Partir De Cascaras De Maracuya (*Passiflora edulis*). Pdf. Consultado 09 Oct. 2014. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/236103782/Trabajo-de-Gestion-Ambiental-COMPLETO>

- Tschiffely, JD.2010.Sustitutos para la pectina.pdf. Consultado el 10 Oct. 2014. Disponible en:http://www.ehowenespanol.com/sustitutos-pectina-gelatinas-mermeladas-lista_175707/

- Mueckay, MD. 2006. Obtención de la pectina a partir de desechos industriales de maracuyá. Pdf. Consultado el 10 Oct. 2014. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos59/obtencion-pectina/obtencion-pectina2.shtml>

- Rojas J, Perea A, Stashenko E; Obtencion de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos; *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, Vol 16, pag 110-115. Numero 1, 2008;Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

- Garcia,JI. 2009. Evaluacion del rendimiento de extracción de pectina en aguas mieles de beneficiados de café procedentes de desmucilaginado mecanico. Pdf Consultado el 10 Oct. 2014. Disponible en 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

- Durán Malagón, VV y Honores Gonzales, MG. 2012. Obtención y caracterización de pectina en polvo a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora Edulis*). Tesis de grado. Guatemala, Ecuador, ESPDL. 113p.

- ATTRI, B. L. AND MAINI, S. B. (1996). .Pectin from Galgal (*Citrus pseudolimon* Tan) peel..En:Bioresource Technology, No. 55. pp .89-91

- García Palma, JI. 2009. Evaluación del rendimiento de extracción de pectina en aguas mieles del beneficiado de café procedente de desmucilaginado mecánico. Tesis Ing. San Salvador, US. 140 p.

- Baltazar Flores, 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.

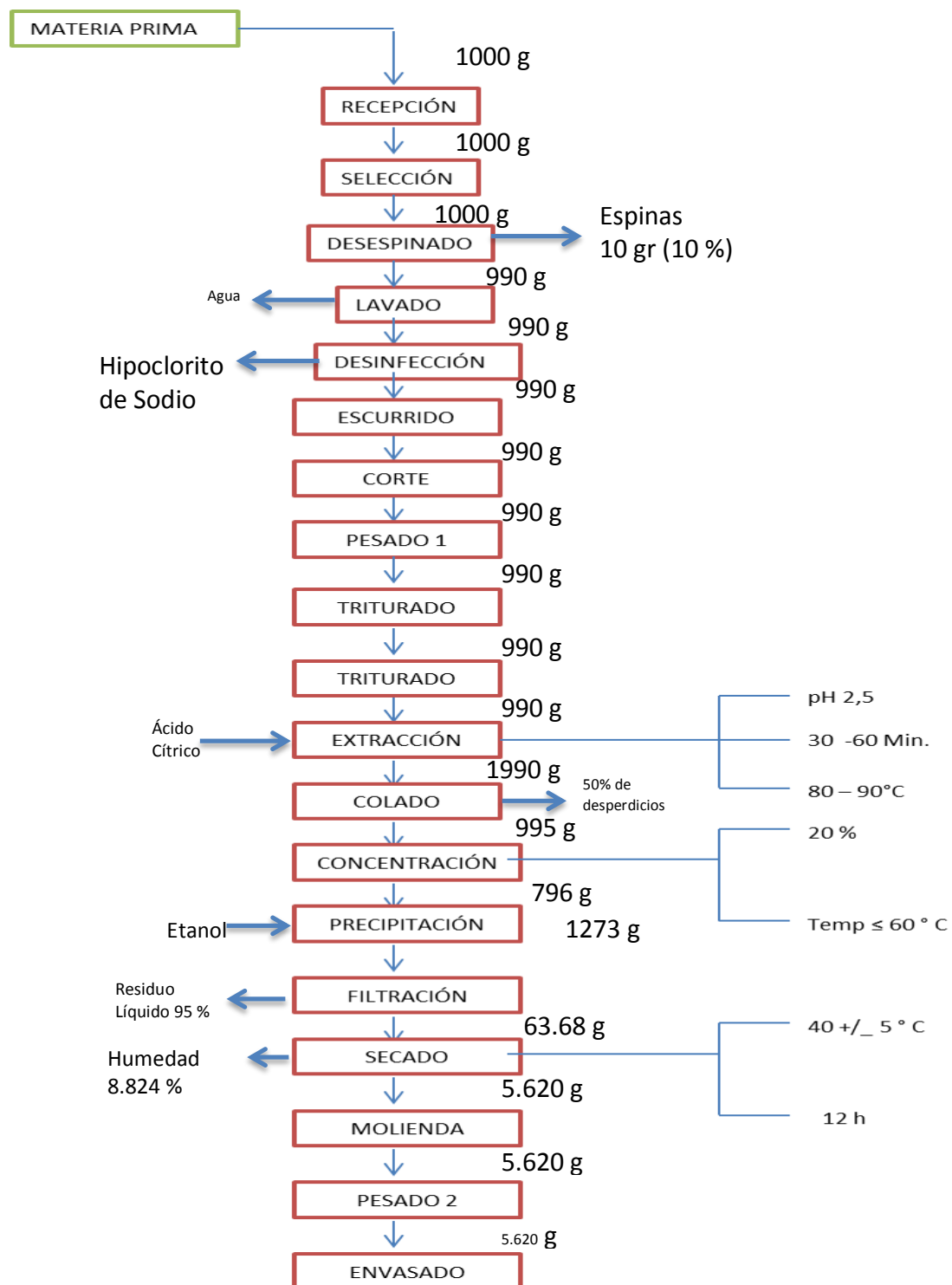
- Arley D. Zapata Z., Carlos A. Escobar G., Sebastián F. Chavalito, Roque A. Hours. Evaluación de la capacidad de solubilización de pectina de cáscara de limón usando protopectinasa-se. Vital, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica. ISSN 0121-4004 Vol. 16, págs.67-74. Número 1, 2009, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Balance de materiales

Cabe señalar la (Figura 30), el balance de materiales se realizó con el objetivo de determinar las pérdidas durante el proceso y la cantidad de pectina obtenida al final del mismo.



7.2. Glosario

- **Hidrocoloides**

Los hidrocoloides son moléculas muy grandes (macromoléculas) que tienen una gran afinidad por el agua donde se disuelven en mayor o menor medida y modifican su reología.

- **Cladiolos**

Se denomina cladiolos a las hojas del nopal de donde proviene la tuna.

- **Mucilago**

El mucílago es una sustancia vegetal viscosa, coagulable al alcohol. También es una solución acuosa espesa de una goma o dextrina utilizada para suspender sustancias insolubles y para aumentar la viscosidad.

- **Salmuera**

La salmuera es agua con una alta concentración de sal disuelta (NaCl).

- **Esterificación**

Se denomina esterificación al 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.

- **Enzima**

Las enzimas son moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles.

- **Solubilidad**

La solubilidad es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra.

- **Hidrofílica**

Hidrófilo de la palabra griega hydros (agua) y philia (amistad); es el comportamiento de toda molécula que tiene afinidad por el agua.

- **Hidrólisis**

Se llama hidrólisis a una reacción ácido-base entre una sustancia, típicamente una sal, y el agua.

- **Precipitación**

Un precipitado es el sólido que se produce en una disolución por efecto de una reacción química o bioquímica. A este proceso se le llama precipitación.