

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS
Escuela Profesional de Ingeniería de Alimentos



**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS
DE pH y TEMPERATURA PARA LA MÁXIMA
EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE
RESIDUOS INDUSTRIALES DE TOMATE DE
ÁRBOL (*Solanum betaceum*)”**

**TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
DE ALIMENTOS**

**LUIS ANGEL CUZCANO ALCALÁ
LEET STEEFF RENGIFO BASTANTE**

Callao, marzo de 2017

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS

Bellavista, 12 de Abril del 2017
OFICIO N° 03-2017-JET-FIPA

Sr. Mg. **WALTER ALVITES RUESTA**
DECANO
FACULTAD DE INGENIERÍA PESQUERA Y DE ALIMENTOS
PRESENTE.

Referencia: RESOLUCIÓN DEL DECANATO N° 087-2016-DFIPA

De nuestra consideración:

Nos dirigimos a usted a fin de saludarlo, y hacer de su conocimiento que en relación a la resolución de referencia se llevó a cabo la sustentación de tesis titulada: **"DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE pH Y TEMPERATURA PARA LA MÁXIMA EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE TOMATE DE ÁRBOL (*Solanum betaceum*)"** a cargo de los señores Bachilleres **CUZCANO ALCALA LUIS ANGEL** y **RENGIFO BASTANTE LEET STEEFF** el día 30 de marzo del 2017, a las 10:00 horas. Sin ningún inconveniente obteniendo el calificativo de **MUY BUENO**, quedando registrado en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de la Facultad en los folios N° 33, N° 34 y N° 35, respectivamente.

Quedando expeditos para la presentación del informe de tesis, aprobado en concordancia a la Directiva N°011-2013-OSG.

Sin otro particular, quedamos de usted.

Atentamente

Ing. Ana Celina Lancho Ruiz

Presidenta

Mg. Domingo Javier Nieto Freire

Secretario

Ing. Ana Rosario Mercado Del Pino

Vocal

Ing. Víctor Alexis Higinio Rubio

Asesor

Ing. Genaro Christian Pesantes Arriola

Co-Asesor

**“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS
DE pH y TEMPERATURA PARA LA MÁXIMA
EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE
RESIDUOS INDUSTRIALES DE TOMATE DE
ÁRBOL (*Solanum betaceum*)”**

ÍNDICE**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

Índice de contenidos.....	i
Índice de figuras.....	v
Índice de tablas.....	vi
Índice de gráficas.....	viii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
Capítulo I: Planteamiento del problema de investigación.....	1
1.1 Descripción y análisis del problema.....	1
1.2 Enunciado del problema en forma de pregunta.....	2
1.2.1 Problema general.....	2
1.2.1 Problema específico.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivo específico.....	3
1.4 Justificación.....	3

Capítulo II: Marco teórico	4
2.1 Antecedentes de la investigación.....	4
2.2 Bases teóricas.....	8
2.2.1 Tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).....	8
2.2.2 Características químicas del <i>Solanum betaceum</i>	12
2.2.3 Características de la pectina.....	13
2.2.4 Superficies de respuesta.....	18
Capítulo III: Variables e Hipótesis	23
3.1 Variables de la investigación.....	23
3.1.1 Variables independientes.....	23
3.1.2 Variables dependientes.....	23
3.2 Operacionalización de las variables.....	23
3.3 Hipótesis general e hipótesis específica.....	24
3.3.1 Hipótesis general.....	24
3.3.2 Hipótesis específicas.....	25
Capítulo IV: Metodología	26
4.1 Lugar de ejecución.....	26

4.2 Materiales.....	26
4.3 Método.....	26
4.3.1 Descripción del proceso.....	26
4.4 Tipo de investigación.....	30
4.5 Diseño de la investigación.....	30
4.6 Población y muestra.....	32
4.6.1 Población.....	32
4.6.1 Muestra.....	33
4.7 Técnica e instrumentación de recolección de datos.....	33
4.8 Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	34
Capítulo V: Resultados.....	39
5.1 Para hallar el modelo matemático de predicción.....	39
5.2 Para determinar el punto de máximo rendimiento del proceso.....	41
5.3 Para determinar el grado de gelificación de la pectina de los residuos del tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).....	44
Capítulo VI: Discusión de los resultados.....	47
6.1 Contratación de las hipótesis con los resultados.....	47
6.2 Contratación de los resultados con otros estudios similares.....	47

Capítulo VII: Conclusiones.....	50
Capítulo VIII: Recomendaciones.....	52
Capítulo IX: Referencias bibliográficas.....	53
Capítulo X: Apéndices.....	58
10.1 Matriz de consistencia.....	58
10.2 Gráfica de valores del pH versus los residuales.....	59
10.3 Gráfica de valores del temperatura versus los residuales.....	59
10.4 Prueba de Levine modificada, para la verificación del supuesto de igualdad de varianza del ANVA para el grado de gelificación.....	60
10.7 Imágenes de la realización del estudio.....	60
Capítulo XI: Anexos.....	67
11.1 Hoja de Cálculo MICROSOFT EXCEL	67

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 2.1: El tomate de árbol.....	9
FIGURA N° 2.2: Semillas del tomate de árbol.....	12
FIGURA N° 2.3. Estructura básica de la pectina: (a) Representación esquemática convencional; (b) Representación nueva.....	16
FIGURA N° 4.1: Diagrama de proceso del estudio.....	29

Tabla N° 5.5 Análisis de varianza para determinar si existe diferencia significativa entre los diversos tratamientos.....	43
--	----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica N° 5.1 Superficie de respuesta del experimento.....	42
Gráfica N° 5.2 Gráfica de contornos del experimento.....	43

RESUMEN

La creciente preocupación por la contaminación ambiental y sus efectos negativos sobre nuestro planeta han impulsado a los científicos a desarrollar nuevas técnicas y procesos para disminuir el impacto de los residuos de la Industria Alimentaria, los que por lo general, han sido fuente de contaminación de ríos y mares. Es por este motivo que se han llevado a cabo diversos estudios para encontrar mejores alternativas para el manejo de residuos orgánicos, siendo en la actualidad las técnicas enzimáticas y microbiológicas las favoritas para acelerar la desintegración de las mismas; sin embargo, es muy importante determinar las características de estos residuos a fin de establecer si se puede recuperar de ellos algún componente de utilidad industrial, tales como vitaminas, gomas polisacáridas, entre otros.

Es por tanto que en el presente estudio se determinó a través de un modelo matemático de segundo orden, los parámetros óptimos para la extracción de pectina a partir de residuos industriales de tomate de árbol, siendo estos, un pH de 2.847 y una temperatura de 94,26°C, obteniendo un rendimiento máximo predicho de 0,093 gramos de pectina por cada gramo de muestra. Además se determinó el grado de gelificación de la misma, la cual en promedio fue 93,33°C, detectándose que no existe diferencia significativa, para un alfa de 0,01, entre el grado de gelificación de las diversas pectinas obtenidas en el rango del estudio realizado.

ABSTRACT

Growing concerns about environmental pollution and its negative effects on our planet have prompted scientists to develop new techniques and processes to reduce the impact of waste from the Food Industry, which generally have been a source of pollution of rivers and seas.

It is for this reason that have conducted various studies to find better alternatives for handling organic waste, and are currently the enzymatic and microbiological techniques the favorites to accelerate the disintegration of them; however, it is very important to determine the characteristics of the waste to establish whether they can be recovered from any component of industrial utility, such as vitamins, polysaccharide gums, among others.

And therefore, the current study was determined by a mathematical model of second degree, the optimum parameters for pectin extraction from industrial wastes of *Solanum betaceum*, these being, a pH of 2.847 and a temperature of 94, 26 ° C, obtaining a theoretical maximum efficiency of 0.093 grams pectin per gram of sample.

Furthermore it gelation degree was determined, which was 93.33 °C on average, detecting that there is no significant difference for an alpha of 0.01, between the gelation degree of the various pectins obtained in the range of the study.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción y análisis del tema

Al analizar la evolución del mercado de aditivos alimentarios, en el último cuarto de ciclo, se observa el aumento en la demanda de ciertos productos de origen vegetal considerados desde antaño como “mermas”; y que sin embargo, en la actualidad son aprovechados como recursos amigables con el medio ambiente, ya que ayudan a disminuir la polución y fortalecen la responsabilidad social de la industria.

Bajo la perspectiva de su compromiso con la sociedad, también es importante resaltar el esfuerzo de la industria por revalorar aquellas fuentes alimenticias, que por motivos como la globalización de los alimentos y la pérdida de interés por productos tradicionales, han casi desaparecido de las mesas de muchos hogares. Este es el caso del Tomate de árbol (*Solanum betaceum*), un fruto de peculiar sabor amargo, y que actualmente se encuentra entre los más estudiados, debido a sus cualidades nutritivas, con el fin de insertarlo de la mejor manera en la dieta de la población peruana.

Como ya se mencionó, su particular sabor amargo es el principal limitante de su empleo en la industria procesadora de alimentos, pues por ejemplo, en la elaboración de néctares debe eliminarse el mesocarpio de la fruta, pues es allí donde se ubican los compuestos

del amargo, pudiendo desecharse hasta el 50% del fruto. Hecho que resulta curioso, pues su elevado contenido de pectina la convierte a la vez en una fuente muy atractiva de este recurso.

Es por tanto, muy importante encontrar la mejor combinación de pH y temperatura, para obtener el máximo rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol en un proceso de elaboración de néctar, a fin de darle un valor agregado a este producto de desecho, combatiendo así la polución ambiental al darle un uso tecnológico a un material de desecho.

1.2 Enunciado del problema en forma de pregunta

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la relación óptima de pH y temperatura de extracción, para obtener el máximo rendimiento en el proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en un proceso de elaboración de néctar?

1.2.2 Problema específico

¿Cuál será la ecuación matemática que prediga del rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*)?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Establecer la relación óptima de pH y temperatura de extracción, para obtener el máximo rendimiento en el proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en un proceso de elaboración de néctar.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar la ecuación matemática que permitirá predecir el rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) mediante el método de superficie de respuestas.

1.4 Justificación

La presente investigación se justifica en el marco científico, pues aportará mayores conocimientos tanto en el estudio de la extracción de pectinas, como en su modelamiento matemático. Esto debido a las importantes propiedades gelificantes y su funcionalidad como aditivo alimentario.

En lo social se justifica debido a que busca disminuir la polución ambiental, al utilizar productos de desecho de la industria procesadora de néctares y darle un valor agregado. También, se persigue el objetivo de revalorar un producto de nuestros andes, que poco a poco con la globalización y la incursión de nuevos alimentos a nuestro mercado, ha ido perdiendo su posición natural en las mesas de nuestros hogares.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación:

- a. **ANGULO;** en **TOMATE DE ÁRBOL;** ¹ asegura que para un adecuado crecimiento y desarrollo de la planta, los valores de pH del suelo deben estar entre 5,5 – 6,5 y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre 25 y 30 meq/100 gramos de suelo.
- b. **CACERES P. y RIVADENEIRA M.** en **Extracción de pectina líquida a partir de cáscaras de Maracuyá (*Passifloea edulis*) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia,** ² señalan que para el proceso de obtención de la pectina se someten las cascarras trituradas a un proceso de hidrólisis, donde éstas son calentadas en una solución acidulada a pH 3 con ácido cítrico, utilizando una relación de volumen agua-cáscara de 3:1 respectivamente. La mezcla acidulada se calentó a 90°C durante 80 minutos. Transcurrido el tiempo de calentamiento se separó el extracto pectínico y el bagazo gastado por medio de un escurrido y prensado en liencillo, procurando que el bagazo quede bien seco. El tiempo de extracción es un factor importante, porque a tiempos muy cortos se reduce la eficiencia en la extracción mientras que con tiempos muy prolongados la materia prima comienza a degradarse.
- c. **CERÓN, MEJÍA, OSORIO;** en **INACTIVACIÓN TÉRMICA DE LA ENZIMA PECTINMETILESTERASA EN ZUMO DE TOMATE DE**

ÁRBOL (*Solanum betaceum*); ³ declaran que la Pectinmetilesterasa es una enzima con una fracción termolábil y otra termoestable, por lo que se requiere que la inactivación de ésta, se dé sobre el jugo de la fruta y con temperaturas superiores a 70°C.

- d. **CHASQUIBOL, ARROYO, MORALES, en EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINAS OBTENIDAS A PARTIR DE FRUTOS DE LA BIODIVERSIDAD PERUANA;** ⁴ señalan que el tomate de árbol (*Solanum betaceum*) contiene aproximadamente 4,34% de pectato de calcio, lo cual la convierte en una de las principales fuentes naturales de pectina en cuanto a frutas de la serranía peruana.
- e. **DEVIA J; PROCESO PARA PRODUCIR PECTINAS;** ⁵ asegura que es posible obtener una pectina en un rendimiento cercano al 10% y con buenas características de gelificación por una extracción en medio ácido, con un pH cercano a 2.0 y tiempo de hidrólisis de unos 30 a 40 minutos.
- f. **FRANCO; en INDUSTRIALIZACIÓN DEL TOMATE DE ÁRBOL;** ⁶ afirma que el tomate de árbol es una fruta con un contenido de humedad medio, y que tiene un significativo contenido de sólidos solubles (12°Brix) y pectina (1.4%), aunque se pueden encontrar pequeñas variaciones de estas cifras, que se deben por lo general a modificaciones en el cultivo, clima, suelo, variedad del fruto, entre otras.

- g. HART, L. y FISHER, H.; ANÁLISIS MODERNO DE LOS ALIMENTOS.** ⁷ declaran que la extracción se basa en una hidrólisis, separación y recuperación de la pectina; la protopectina se hidroliza en medio ácido diluido, en caliente, removiendo así, no solo la pectina, sino también, otros productos tales como polisacáridos neutros y gomas. El grado de esterificación final, depende de la temperatura, del pH y de la duración del tratamiento ácido; pudiendo obtenerse pectinas fuertemente metiladas o pectinas débilmente metiladas.
- h. MACA, OSORIO, MEJÍA-ESPAÑA; en INACTIVACIÓN TÉRMICA DE LA PECTINMETILESTERASA EN TOMATE DE ÁRBOL;** ⁸ aseguran que aplicando un tratamiento térmico de 90°C por 20 segundos a un extracto de pulpa de tomate de árbol, se podrá reducir la actividad residual de las enzimas que degradan la pectina hasta llevarla a un nivel entre el 9 y 4%.
- i. MÉRIDA; en EXTRACCIÓN DE PECTINA DE ALTO METOXILO A PARTIR DE CÁSCARAS DE PARCHITA PARA LA PRODUCCIÓN DE MERMELADA;** ⁹ declara que la Parchita, que es una fruta cítrica-agria de características sensoriales similares al tomate de árbol, a la cual, para extraerle la pectina se le aplicó un método de hidrólisis ácida, con un pH de 3,0; temperatura de 80°C y tiempo de 90 minutos, con un rendimiento de 0,33% con respecto al peso total del fruto.

Su cultivo ha incrementado en los últimos años y actualmente se puede encontrar en países como Nueva Zelanda y Kenia que son los mayores proveedores para el mercado europeo con semilla originaria de Colombia.¹⁶

Se le conoce popularmente con el nombre de "tomate de árbol" aunque recibe otros nombres como tomate cimarrón, berenjena, tomate extranjero, granadilla y contra gallinazo en Centroamérica, berenjena y tomate de palo en Perú, Ecuador, Colombia y México, tomate de monte, tomate silvestre, pepino de monte y gallinazo panga en Bolivia, tomate chimango, tomateiro da serra en Brasil y tamarillo en Nueva Zelanda, país en donde ha sido introducido.¹⁷



FIGURA N° 2.1. El tomate de árbol (Catalunyaplants, 2013)¹⁸

El tomate de árbol, según expresa Albornoz (1989)¹⁹, tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Vegetal

cada racimo se presentan hasta 40 flores, de las cuales de tres a seis logran cuajar formando los frutos y llegan a la madurez fisiológica.²⁰

Meza (2009)²¹ indica que el fruto del tomate de árbol es una baya con largo pedúnculo de forma redondeada, piriforme, ovoide y/o apiculada, con un tamaño de 8 a 10 cm de longitud y de 4 a 6 cm de diámetro, su peso varía entre 40 a 130 g, la corteza es gruesa y tiene una cutícula de sabor amargo, la cual debe ser eliminada al consumirlo; sobre la pulpa, puede ser de color amarillo, anaranjado, tonos rojos y crema, pudiendo ser jugosos y de sabor agridulce, esto dependerá de la variedad. Presenta una gran cantidad de semillas (250) pubescentes, cubiertas de un arilo gelatinoso de diferentes colores dependiendo de la variedad (Figura N° 2.2 pág. 12). Existen variedades con frutos de piel lisa y brillante, el color varía entre los genotipos desde verde cuando inmaduro a amarillo, anaranjado, rojo y púrpura oscuro cuando madura. Se consume como jugo, conserva con almíbar, ensaladas de frutas, helados, jaleas, mermeladas, dulces y en platos de carnes con sabores combinados. Posee cualidades nutricionales, especialmente sus propiedades de reducción de colesterol, su alto contenido de fibra, β -Caroteno (pro-vitaminas A), vitamina B6, vitamina C, vitamina E, hierro, potasio, magnesio, fósforo con un contenido de nitrógeno y aminoácidos libres muy alto y su bajo

nivel de calorías. Fortalece el sistema inmunológico y la visión, además de funcionar como antioxidante es una buena fuente de pectina.

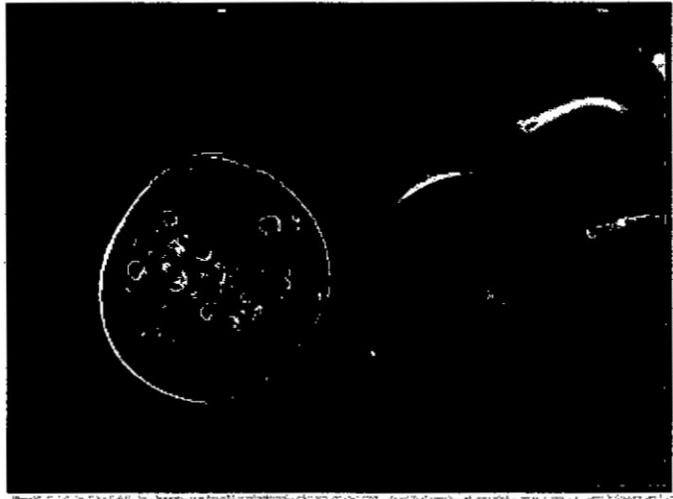


FIGURA N° 2.2. Semillas de tomate de árbol (Catalunyaplants, 2013)¹⁸

2.2.2 Características químicas del *Solanum betaceum*

Los estudios químicos del fruto fresco de *Solanum betaceum* indican que es una fuente importante de beta caroteno (provitamina A), vitamina B6, vitamina C (ácido ascórbico), vitamina E y hierro. Su contenido de nitrógeno y aminoácidos libres es muy alto. También posee contenidos altos de potasio, magnesio, fósforo, así como de pectinas y carotenoides. Su contenido de carbohidratos es bajo, en promedio una fruta proporciona menos de 40 calorías.²² El fruto maduro contiene menos del 1% de almidón y 5% de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa). Otros componentes químicos responsables de la coloración del fruto son las antocianinas,

leucoantocianinas, flavonas y flavonoles. Se han reportado además dos alcaloides esteroidales del tipo de los espirosolanos, solasodina y tomatidenol, siendo estos últimos los que mayor atención han recibido como fuentes alternativas de esteroides de interés farmacéutico.²³

Los datos de la composición se presentan en la tabla 2.1 se deben interpretar por 100 g de la porción comestible del fruto.

Tabla 2.1 Composición nutricional del Tomate de Árbol

Componente	Contenido en 100 g	Componente	Contenido en 100 g
Agua	85,84 g	Calcio	6 mg
Proteína	1,7 g	Hierro	0,4 mg
Grasa	0,1 g	Tiamina	0,05 mg
Carbohidratos	10,3 g	Riboflavina	0,03 mg
Fibra	1,1 g	Niacina	1,1 mg
Cenizas	0,8 g	Ácido Ascórbico	25 mg
Fósforo	22 mg	Vitamina A	100 mg

Fuente: Cárdenas, C.; 2009.²⁴

2.2.3 Características de la pectina

Las pectinas son productos químicos que se obtienen de materias primas vegetales, principalmente frutas, se usan en varias industrias, especialmente la de alimentos, para darle propiedades de gel a los productos y como estabilizantes. La pectina es un producto tecnológicamente funcional de interés para la industria de alimentos, debido a que sus propiedades reológicas son favorables

para la elaboración de diferentes productos aportando textura y consistencia. La pectina, es un polisacárido compuesto de una cadena lineal de moléculas de ácido D-galacturónico, es un producto natural que está presente en la piel de todos los vegetales, especialmente en las frutas, siendo el principal responsable de su textura, posee propiedades de gelificación en presencia de ácidos y azúcar.²⁵

En la bibliografía analizada, la palabra agrios es un término genérico colectivo, que abarca un cierto número de especies y variedades de frutos, conocidos en el mundo por sus brillantes colores y perfume característico. Los frutos agrios son apreciados no sólo por su apariencia y olor penetrante de la corteza, sino también por sus excelentes cualidades como alimento y propiedades de gelificación. Botánicamente, los frutos agrios que se cultivan se clasifican dentro de los géneros *Citrus*, *Fortunella* y *Poncirus*, de la subfamilia Aurantioideas, incluida a su vez en la familia Rutáceas. El género *Citrus* está representado por varias especies que constituyen, asimismo, numerosas variedades como: *Citrus aurantium* (naranja amarga), *Citrus bergamia* (bergamota), *Citrus sinensis* (naranja dulce), *Citrus reticulata* Blanco o *Citrus nobilis* Andrews (naranjas mandarinas y tarenjinas), *Citrus paradisi* Macfadyen o *Citrus máxima* Merr (toronja), *Citrus grandis* (pomelo), *Citrus limón* Burmann (limón), *Citrus aurantifolia* (lima) y *Citrus*

médica (cidra) son algunos ejemplos de este género. La toronja, el pomelo y el limón son las frutas que se pueden utilizar como materia prima en la elaboración de pectina.²⁶

Según Braverman (1952)²⁶, el término sustancias pécticas designa a hidratos de carbono coloidales y complejos que comúnmente se encuentran en todos los tejidos de las plantas y en especial en los frutos. Éstos están compuestos en su mayor parte por ácidos poli galacturónicos de diferentes grados de esterificación y neutralización, y muestran grandes variaciones en cuanto a su solubilidad en agua. La propiedad característica de la pectina es la formación de jaleas con el azúcar y los ácidos.

La pectina es una sustancia natural que se forma principalmente en la pared primaria y en los tejidos mesenquimáticos y parenquimáticos de frutos y vegetales, y tiene la función de cemento intercelular.²⁷

La pectina forma coloides por excelencia, ya que tiene la propiedad de absorber una gran cantidad de agua, son de alto peso molecular y contienen largas cadenas formadas por unidades de 1,4- α -D-ácido galacturónico (GalpA). Tres polisacáridos pécticos (homogalacturona, rhamno galacturona-I y galacturonas sustituidas) han sido separados y caracterizados y todos contienen GalpA en mayor o menor cantidad. Hasta hace poco se ha aceptado que los polisacáridos homogalacturona y

rhamnogalacturona-I son los constituyentes principales de los polímeros pécticos, como se muestra en la figura N° 2.3a. Sin embargo, en una estructura alternativa, propuesta recientemente, el polisacárido homogalacturona es una larga cadena de rhamnogalacturona-I.²⁸

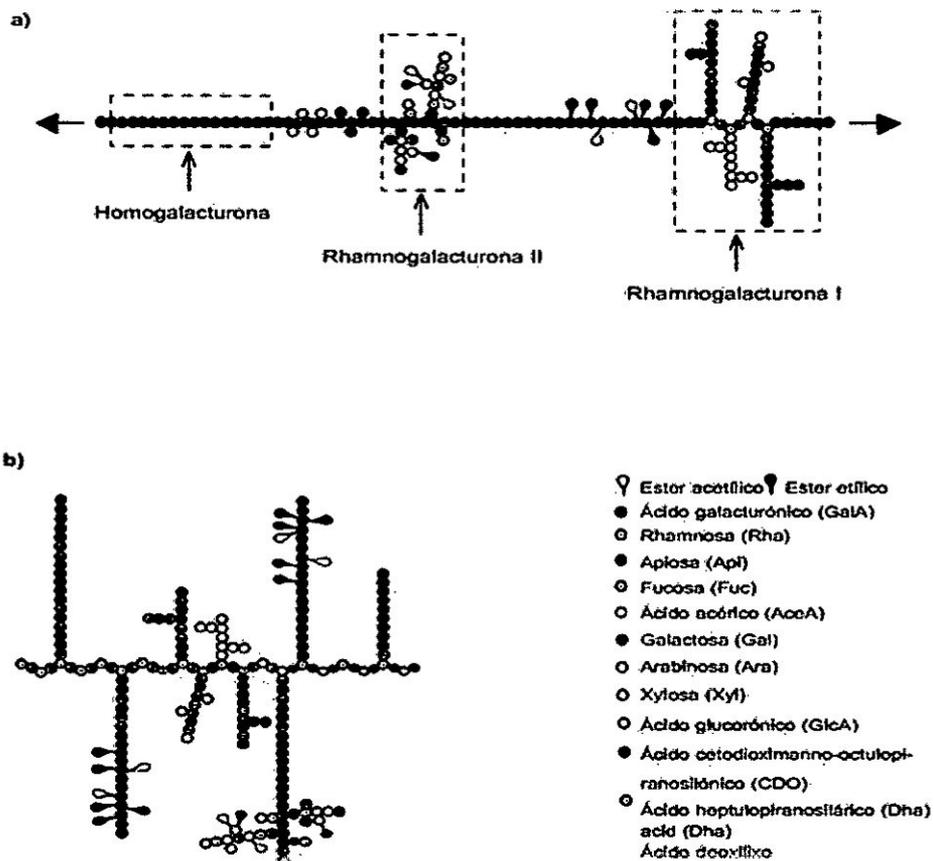


FIGURA N° 2.3. Estructura básica de la pectina: (a) Representación esquemática convencional; (b) Representación nueva (Chasquibol, Arroyo, Morales, 2008)⁴

Las pectinas se obtienen de materiales vegetales que tienen un alto contenido de éstas, tales como manzanas, frutas cítricas, piña, guayaba dulce, tomate de árbol, maracuyá y remolacha. Los

subproductos de la industria de zumos de frutas, bagazo de manzanas y albedos de cítricos (limón, limón verde, naranja, toronja), constituyen básicamente las fuentes industriales de pectinas.²⁹

Las pectinas de las frutas, y en general de los materiales vegetales, varían en el contenido de metoxilo y poder de gelificación, así como también en la presencia y las posiciones de otros grupos químicos como amidas y metoxilo. El contenido de metoxilo en las pectinas comerciales se encuentra entre el 8 y el 11%, pueden formar geles con un contenido de 65% de sólidos solubles (azúcar). También varían en la longitud de la cadena y los elementos involucrados en su estructura, lo cual compromete su capacidad de fluir. Desde el punto de vista del contenido de metoxilo, o sea del número de grupos carboxilos esterificados con metanol, se distinguen dos tipos, pectinas de alto metoxilo y pectinas de bajo metoxilo.³⁰

En las frutas, la mayoría de los grupos ácidos del ácido galacturónico están esterificados por metanol. Este metanol puede perderse con relativa facilidad por hidrólisis ácida o enzimática, dejando el grupo ácido libre. En función del porcentaje de restos de ácido galacturónico esterificado las pectinas se clasifican como de alto metoxilo cuando este porcentaje es superior al 65% y de bajo metoxilo cuando es inferior.³¹

Para fines industriales, las fuentes de obtención de las pectinas se restringe principalmente a las cáscaras de los frutos cítricos (20-35%), infrutescencia del girasol (15-25%), remolacha (10-20%) y pulpa de manzana (10-15%).

La pectina es ampliamente usada como ingrediente funcional en la industria de los alimentos y como fuente de fibra dietética, debido a su habilidad para formar geles acuosos. Los geles de pectina son importantes para crear o modificar la textura de como potas, jaleas, salsas, ketchup, mayonesas, confites; en la industria láctea para la fabricación de yogures frutados y productos lácteos bajos en grasa, en la industria de bebidas dietéticas para la preparación de refrescos, debido a su bajo contenido de carbohidratos, por sus propiedades estabilizantes y por incrementar la viscosidad.³²

2.2.4 Superficie de respuestas

Montgomery (2002)³³ declara que el Método de Superficies de Respuesta, o **MSR**, es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta, que por lo general es el rendimiento de un proceso. Siendo éste, una función de los niveles de los factores tomados en cuenta en el diseño del experimento:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \dots\dots\dots (1)$$

Donde ε representa el ruido o error observado en la respuesta y . Si la respuesta esperada se denota por $E(y) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) = n$, entonces a la superficie representada por

$$n = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \dots\dots\dots (2)$$

Se le denomina **superficie de respuesta**. Para ayudar a visualizar la superficie de respuesta, con frecuencia se grafican los contornos de ésta. En la gráfica de contornos se trazan las líneas de respuesta constante en el plano x_1, x_2 . Cada contorno corresponde a una altura particular de la superficie de respuesta.

En la mayoría de problemas MSR, la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes es desconocida. Por lo tanto, el primer paso de la MSR es encontrar una aproximación adecuada de la verdadera relación funcional entre la variable dependiente y la o las independientes. Esta relación puede ser lineal o puede presentar curvatura, ello va a depender de la región del experimento en el cual nos encontremos. Si la región se encuentra creciendo o disminuyendo, la relación será lineal; sin embargo, si nos encontramos en un punto de inflexión, ya sea de máximo o de mínimo, la relación es de seguro una polinómica, usándose para describirlo una ecuación de segundo grado.

Teniendo que desarrollar el siguiente modelo:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_{11} x_1^2 + \hat{\beta}_{22} x_2^2 + \hat{\beta}_{12} x_1 x_2 : \dots\dots\dots (3)$$

Por tanto, si nos encontramos en la zona óptima del proceso, es de seguro que la ecuación de segundo orden deberá ser aquella que describa con una precisión razonablemente correcta la conducta del proceso.

El método de mínimos cuadrados puede usarse para estimar los parámetros de la ecuación 3. Después de ello, se realiza el análisis de la superficie de respuesta utilizando la superficie ajustada. Si la superficie ajustada es una aproximación adecuada de la verdadera función de la respuesta, ésta deberá ajustarse bien a las observaciones reales; sin embargo, para una mayor certeza se utiliza el análisis de varianza para confirmar la adecuación del modelo, haciéndose mayor énfasis en determinar primero que el modelo lineal es inadecuado, para posteriormente confirmar la adecuación del modelo de segundo orden, a través del parámetro de falta de ajuste.

Para el empleo de un ANVA para tomar la decisión si el modelo lineal es adecuado o no, es sólo necesario usar los puntos factoriales del diseño, los cuales dependiendo de la cantidad de factores y niveles pueden hacer como no grande el número de corridas necesarias para estimar el error del experimento. Y si a ello le sumamos que si el modelo lineal no es adecuado, como se esperaría que fuese una zona óptima de cualquier proceso, habría que desarrollar el modelo cuadrático, para lo cual se haría

necesario incrementar a los puntos factoriales, los puntos axiales, que no son sino una ampliación de los niveles de los factores; siendo por tanto necesario una mayor cantidad de corridas para llevar a cabo el experimento, siendo ésta uno de los principales inconvenientes del modelo. Pero como Montgomery (2002)³³ bien afirma, un método efectivo para eliminar la réplica en los puntos factoriales y axiales, es la adición de puntos centrales al diseño.

Estos puntos centrales consisten en n réplicas que se corren en los puntos $x_i = 0 (i = 1, 2, \dots, k)$. Una razón importante para agregar réplicas de las corridas en el centro del diseño es que los puntos centrales no afectan las estimaciones usuales de los efectos en un 2^k . Cuando se agregan puntos centrales, se supone que los k factores son cuantitativos. Finalmente, sobre los puntos centrales Montgomery (2002)³³ recomienda correr las réplicas del punto central en orden no aleatorio. Específicamente, que éstas sean corridas uno o dos puntos centrales en o cerca del inicio del experimento, uno o dos cerca de la parte media y uno o dos cerca del final. Pues al separarlos así se tendrá una verificación aproximada de la estabilidad del proceso durante el experimento.

A este diseño estadístico con los puntos centrales se le denomina **Diseño Central Compuesto** (DCC), el cual para ser empleado, ha sucedido que el diseño lineal ha demostrado falta de ajuste, y

después al modelo factorial se le adicionaron los puntos axiales para permitir la incorporación de términos cuadráticos en el modelo. El DCC es un diseño muy eficiente para ajustar el modelo de segundo orden. Pero hay dos parámetros que deben especificarse: la distancia α de las corridas axiales al centro del diseño y el número de puntos centrales n_c . Para la corridas centrales, por lo general se recomienda (Según Montgomery, 2002) un total de entre tres a cinco corridas.

Por otra parte para determinar α se utiliza el criterio de Rotabilidad, el cual permite que la variación de la respuesta predicha sea constante en todos los puntos x que están a la misma distancia del centro del diseño. Es decir, la varianza de la respuesta predicha es constante en esferas. El valor de α para la rotabilidad se depende del número de puntos en la porción factorial del diseño; de hecho, $\alpha = (n_f)^{1/4}$, donde n_f es el número de factores del diseño. Convirtiéndose en ese caso en un **Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR)**.

CAPÍTULO III

VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1 Variables de la investigación

3.1.1 Variables independientes

a. pH de extracción

Es el pH en el que se efectuó el proceso de extracción de pectina.

b. temperatura de extracción

Es la temperatura expresada en grados Celsius, a la cual se efectuó el proceso de extracción de pectina.

3.1.2 Variables dependientes

a. Rendimiento de pectina

Es la cantidad de pectina que se obtuvo, en gramos por cada gramo de muestra.

b. Grado de gelificación

Es la cantidad de azúcar (sacarosa) que gelificó una parte de pectina para obtener una firmeza dada bajo condiciones establecidas de pH = 3,2; de 65 °Brix.

3.2 Operacionalización de las variables

Las variables fueron operadas según indica la tabla N° 4.3 de la página 32, en la cual detalla el diseño del experimento.

Obteniéndose a raíz de ello la siguiente tabla:

Tabla N° 3.1. Operacionalización de las variables

VARIABLES		TIPO	INDICADOR	INSTRUMENTO
VARIABLES INDEPENDIENTES	pH de extracción	Cuantitativo	1,79	Potenciómetro digital
			2	
			2,5	
			3	
			3,21	
VARIABLES INDEPENDIENTES	Temperatura de extracción	Cuantitativo	75,86 °C	Termómetro digital
			80°C	
			90°C	
			100°C	
			104,14°C	
VARIABLES DEPENDIENTES	Rendimiento de Pectina	Cuantitativo	Método de extracción ácida	Balanza de precisión
	Grado de Gelificación	Cuantitativo	Prueba de la Sacarosa	Percepción visual

Fuente: Elaboración propia

3.3 Hipótesis general e hipótesis específica

3.3.1 Hipótesis general

Realizando el proceso de extracción de pectina (entre pH 1,79 a pH 3,21) y temperaturas de 75,86°C a 104,14°C, se podrán determinar los parámetros óptimos de pH y temperatura para la máxima extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en un proceso de elaboración de néctar.

3.3.2 Hipótesis específicas

Empleando el método de Superficies de Respuesta, se podrá determinar el modelo matemático que permitirá predecir el rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

CAPÍTULO VI

METODOLOGÍA

4.1 Lugar de ejecución

La presente tesis se desarrolló en el laboratorio de Chucuito de la Facultad de Ingeniería de Pesquera y de Alimentos de la Universidad Nacional del Callao.

4.2 Materiales

4.2.1 Insumos

Tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

4.2.2 Equipos y Programa

Estufa de convección, Balanza digital con precisión de centésimas, Balanza mecánica, Cronómetro, Mortero, Fiolas, pH – metro, Refractómetro, Termómetro digital. – Máquina PC con programa Microsoft Excel versión 2010.

4.2.3 Instrumentos

Mesas de acero inoxidable, Cuchillos de acero inoxidable, Jarras medidoras, Cucharones de acero inoxidable, Bol de acero inoxidable, Luna reloj, Espátulas, Pro pipetas, Vaso Becker.

4.2.4 Reactivos

Ácido Sulfúrico (H_2SO_4 1N), Etanol 96°, Hidróxido de Sodio (NaOH 1N), ácido cítrico.

4.3 Método

4.3.1 Descripción del proceso

El proceso es descrito en la figura N° 4.1 (página 29), iniciando con la recepción del mesocarpio del tomate árbol, el cual se obtuvo de la merma de un proceso de elaboración de néctar. Estos trozos fueron pesados y posteriormente colocados en un recipiente con agua destilada a 95 °C por 15 minutos con el objetivo de inactivar las enzimas pectinesterasas y poligalacturonasa que rompen los enlaces glucosídicos entre moléculas galacturónicas, despolimerizando la cadena a fracciones más cortas y, finalmente, llegando al ácido galacturónico.

Posteriormente se eliminó el agua para realizar un Pulpeado con el objetivo de separar la pulpa de la cáscara del tomate de árbol.

Una vez obtenida la pulpa, ésta se volvió a pesar para ser sometida, posteriormente, al proceso de extracción con agua acidulada con H₂SO₄, para obtener los valores de pH indicados en el diseño del estudio (entre pH 1,79 a pH 3,21). La mezcla se mantuvo en constante agitación por 75 minutos a la temperatura indicada en la tabla N° 3.1 de la página 24.

Por último la torta se filtró y se le añadió etanol de 96° para que la pectina precipite, esto con un tiempo de reposo de 60 minutos.

Luego el sobrenadante se eliminó y se secó a 70°C hasta una humedad bordante al 4%, la cual se determinó con el método descrito en la norma mexicana: NMX-F-083-1986³⁵.

La pectina obtenida fue pesada para obtener el rendimiento final del proceso, descrito en la tabla N° 5.2 en la página 40.

Finalmente se tomó la pectina obtenida en cada prueba y se le realizó la prueba de grado de Gelificación, descrita por C. Mollea, F. Chiampo y R. Conti³⁶, teniendo que disolver 0,4 gramos de pectina en 50 ml de agua destilada en ebullición. Posteriormente se le adicionó 100 gramos de azúcar blanca y se llevó el volumen a 150 ml, con agua destilada, finalmente se adicionó ácido cítrico hasta pH 3,2, dejando en reposo por 24 horas. (Se repitió el procedimiento anterior con todas las muestras de pectina).

Para calcular el grado de gelificación. Se eligió el gel que presentaba las características más apropiadas. Es decir se filtró la solución, y el gel retenido en el filtro se pesó, determinando así, la pectina que gelificó una mayor cantidad de sacarosa. (Se repitió el proceso para 0,6; 0,8; 1,0 y 1,2 g de pectina)

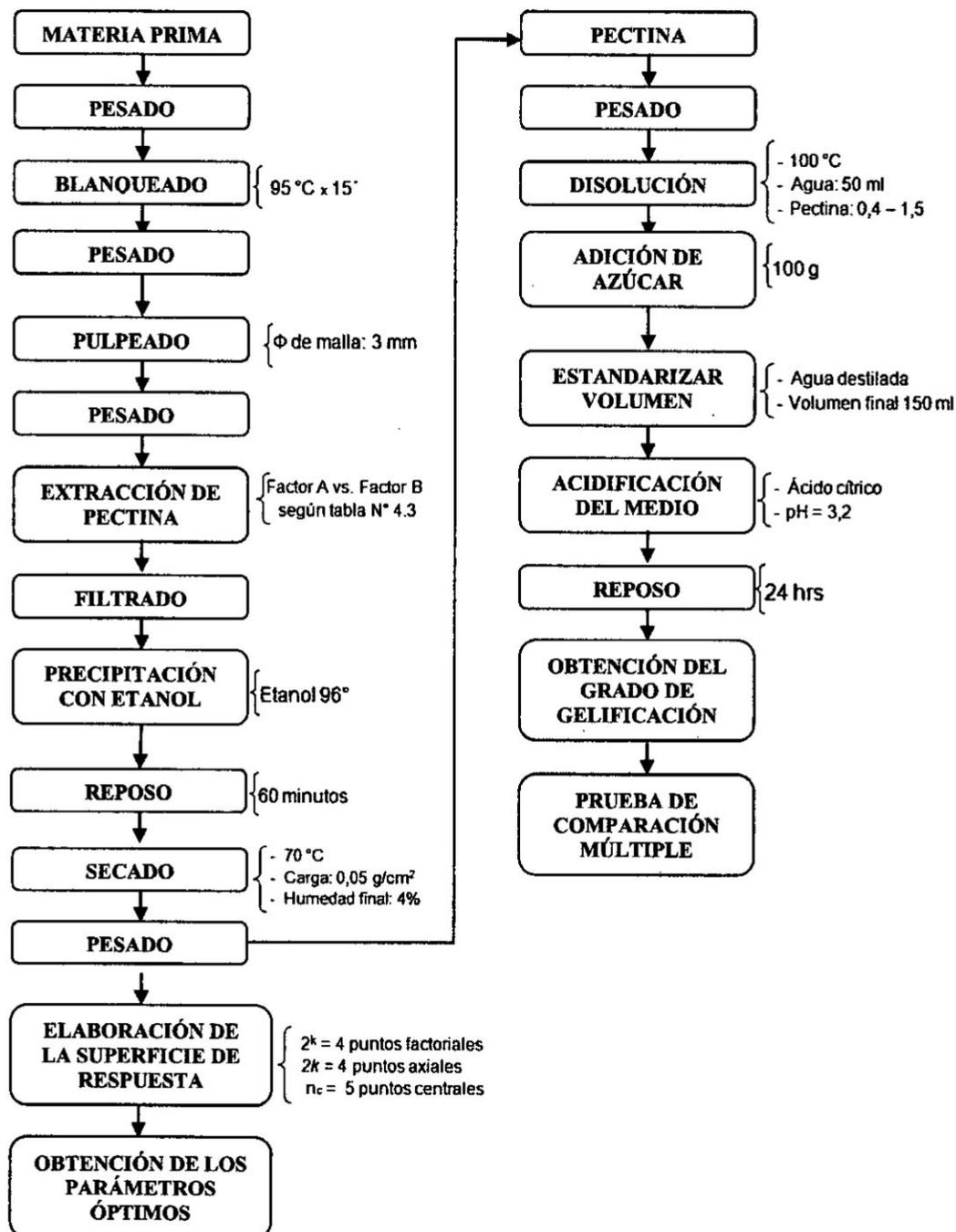
Para obtener el valor numérico, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Grado de gelificación} = \frac{\text{gramos.de.sacarosa}}{\text{gramos.de.pectina.usada}} \dots\dots (4)$$

En la última etapa del estudio se determinó la existencia de diferencia significativa entre los diferentes grados de gelificación de la pectina a través de un análisis de varianza.

Figura N° 4.1, Diagrama del proceso de extracción de pectina de las mermas del

Tomate de Árbol y la obtención de su grado de gelificación



Fuente: Elaboración propia

4.4 Tipo de investigación

Se realizó una investigación del tipo experimental (ya que los datos fueron recolectados a través de la puesta en práctica del trabajo de investigación en el laboratorio). Los datos obtenidos fueron de naturaleza cuantitativa, obteniéndolos de la ejecución del diseño experimental (Diseño Central Compuesto Rotacional). La investigación es también del tipo aplicada (ya que se dará solución a un problema de tal forma que el estudio pueda replicarse).

4.5 Diseño de la investigación

Fue llevado a cabo un Diseño Central Compuesto Rotacional (DCCR), manejándose los siguientes factores:

- **Factor A:** pH (que recibirá la denominación de X_1 para efectos del modelo a desarrollarse).

Tabla N° 4.1. Diseño del Factor A (pH)

Denominación	Valor Real	Valor Codificado	Réplicas
Axial inferior	1,79	$-\sqrt{2}$	1
Punto factorial	2	-1	1
Punto central	2,5	0	5
Punto factorial	3	1	1
Axial superior	3,21	$\sqrt{2}$	1

Fuente: Elaboración propia

- **FACTOR B:** Temperatura (que recibirá la denominación de X_2 para efectos del modelo a desarrollarse).

Tabla N° 4.2. Diseño del Factor B (Temperatura)

Denominación	Valor Real	Valor Codificado	Réplicas
Axial inferior	75,86°C	$-\sqrt{2}$	1
Punto factorial	80 °C	-1	1
Punto central	90 °C	0	5
Punto factorial	100 °C	1	1
Axial superior	104,14 °C	$\sqrt{2}$	1

Fuente: Elaboración propia

El Diseño Compuesto Rotacional (DCCR) fue corrido en sus puntos factoriales y axiales, total mente al azar, mientras que los puntos centrales fueron organizados de tal forma que permitan realizar una estimación del error del proceso que pueda ser usado a efectos del Análisis de Varianza realizado en la página 39. Dicha distribución de las corridas experimentales se observan en la tabla N° 4.3 que se presenta a continuación.

Tabla N° 4.3. Diseño básico para el desarrollo de la superficie de respuesta

VARIABLES NATURALES		VARIABLES CODIFICADAS		ORDEN DE CORRIDA
FACTOR A (pH)	FACTOR B (°C)	X ₁ (pH)	X ₂ (°C)	
2	80	-1	-1	11
3	80	+1	-1	3
2	100	-1	+1	10
3	100	+1	+1	4
2.5	90	0	0	1
2.5	90	0	0	2
2.5	90	0	0	7
2.5	90	0	0	8
2.5	90	0	0	13
3.21	90	$\sqrt{2}$	0	9
1.79	90	$-\sqrt{2}$	0	6
2.5	104.14	0	$\sqrt{2}$	5
2.5	75.86	0	$-\sqrt{2}$	12

Fuente: Elaboración propia

4.6 Población y muestra

4.6.1 Población

Está determinada por la totalidad de tomates de árbol que se comercializan en el mercado mayorista de Caqueta.

4.6.2 Muestra

Para el proceso de extracción de pectina se requirió 10 Kg de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Mientras que para la prueba de grado de gelificación (G.G.) se necesitó realizar tres réplicas para comparar los promedios de G.G. de las pectinas obtenidas de cada tratamiento de extracción, haciendo un total de siete gramos de pectina por tratamiento.

4.7 Técnica e instrumentación de recolección de datos

Los datos fueron recolectados en forma directa durante el desarrollo de la etapa experimental del estudio, por lo que poseen un carácter primario.

Las técnicas empleadas fueron las siguientes.

a. pH de extracción

El pH fue controlado mediante el empleo de un potenciómetro digital. Como no se conocía la cantidad de ácido sulfúrico a emplear, se colocó el ácido (a una concentración de 1N) en una bureta, y debajo de él un matraz conteniendo agua destilada con el cátodo del potenciómetro sumergido en él. Se procedió luego a permitir que el ácido gotee mientras se observaba la variación del

pH con el potenciómetro hasta llegar a los valores que se indican en la tabla 4.3 de la página 32.

b. temperatura de extracción

Ésta fue medida con el empleo de un termómetro digital, el cual tuvo que ser colocado en el punto central de la solución extractora para así poder mejorar la precisión de la medida.

c. Rendimiento de pectina

Se determinó empleando el método descrito en el apartado 4.3.1, para determinar el rendimiento, se empleó el peso inicial de las cáscaras del tomate de árbol y se comparó con la cantidad de pectina obtenida, expresándolo en gramos de pectina obtenida por cada gramo de muestra.

d. Grado de gelificación

El método empleado se fundamenta en que al agregar una misma cantidad de agua y azúcar, así como también estar en las mismas condiciones de pH, la muestra que presentó un mayor peso (sin contar el peso de la pectina añadida), después del filtrado, será aquella con mejores cualidades de gelificante, obteniendo así el grado de gelificación de las muestras, habiéndose realizado tres réplicas, se consideró como el grado final de gelificación, el promedio de las tres respuestas.

4.8 Procesamiento estadístico y análisis de datos

Los cálculos y gráficas del presente estudio, así como el procesamiento estadístico de los datos fueron realizados empleando la hoja de cálculo de Microsoft Excel versión 2010. Empleando a la vez, un grado de significancia, representado por la variable estadística " α ", de 0.01, el cual es la probabilidad de tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula, cuando en realidad ésta es verdadera. En otras palabras, se dirá que existe una probabilidad del 99% que nuestra decisión de rechazar la hipótesis nula se fundamenta por la validez de los datos obtenidos en la ejecución del experimento, y por tanto dicha conclusión, será válida; mientras que existe un riesgo del 1% que nuestra conclusión de rechazar la hipótesis nula se deba a efectos del azar.

4.8.1 Para hallar el modelo matemático de predicción

Montgomery señala en su obra "Diseño y Análisis de Experimentos" que el primer paso a ejecutar para determinar si el experimento se encuentra en su zona de máximo rendimiento, es demostrar que el modelo se describe de manera correcta con una ecuación de segundo grado, pues la curvatura que expresa este modelo en su descripción gráfica, es señal de un punto de inflexión, que denotará un punto de máximo rendimiento o también conocido como ascenso a la colina.

La correlación del experimento con un modelo de segundo orden se justifica con el empleo de un análisis de varianza o también

llamado como cuadro ANVA. Posterior a este análisis y habiéndose demostrado que el modelo de segundo grado es el correcto, se procedió a la determinación de la ecuación (de segundo grado) que describa y prediga la conducta del experimento. Para ello se tuvo que desarrollar la siguiente ecuación:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_{11} x_1^2 + \hat{\beta}_{22} x_2^2 + \hat{\beta}_{12} x_1 x_2; \dots\dots\dots (3)$$

Donde X_1 representa al factor pH; X_2 representa al factor temperatura y las β los coeficientes de regresión del modelo. Justamente para la determinación del valor de las β es que Montgomery recomienda el empleo del método de mínimos cuadrados, para así minimizar la suma de cuadrados del error. Para el desarrollo de ese método se tiene que desarrollar la ecuación 5

$$\beta = (X'X)^{-1} X'y \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

y = es un vector ($n \times 1$) de las observaciones

X = es una matriz ($n \times (k+1)$) de los niveles de las variables independientes

β = es un vector ($n \times 1$) de los coeficientes de la regresión

n = número de observaciones totales

k = número de factores en estudio

Ya con la ecuación desarrollada, se procedió a plotear los datos dentro del rango del diseño del presente estudio, que son presentados en la tabla N° 4.3 de la página 32, para que con ellos se realice la gráfica de Superficie de Respuesta.

4.8.2 Para determinar el punto de máximo rendimiento del proceso

Con el modelo matemático ya determinado, se procedió a encontrar el punto de máximo rendimiento del proceso de extracción de pectina. Se utilizó para esto, el procedimiento denominado por Montgomery (2002) como "Punto Estacionario", que se define por la siguiente ecuación:

$$X_s = (-1/2) B^{-1} b \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

✓ **B**: es una matriz simétrica ($k \times k$) cuyos elementos de la diagonal principal son los coeficientes cuadráticos puros, y cuyos elementos que están fuera de la diagonal principal son la mitad de los coeficientes cuadráticos mixtos.

b: es un vector ($k \times 1$) de los coeficientes de primer orden.

4.8.3 Para determinar el grado de gelificación de la pectina de los residuos del tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

Se empleó una prueba de análisis de varianza, donde se determinaron la veracidad de dos hipótesis. La primera, conocida como hipótesis nula, donde se señala que no existe diferencia

significativa entre el grado de gelificación de las muestras obtenidas de los diversos tratamientos de extracción. Y la segunda, o también llamada hipótesis alterna, donde se afirma que al menos una de las muestras posee un grado de gelificación distinto al de los demás. Para esto se hizo empleo de la tabla que a continuación se describe:

Tabla N° 4.4. Análisis de varianza para un solo factor y varios tratamientos

Fuente de Varianza	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F _c	F _t
Entre tratamientos	g ₁ = a-1	$\sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2$	$\frac{SC}{g.l.}$	$\frac{CM_T}{CM_e}$	F _{g₁,g₂}
Error	g ₂ = N-a	SC _E = SC _{Total} - SC _{Tratamiento}	$\frac{SC}{g.l.}$		
Total	N-1	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$			

Fuente: Elaboración propia

Como se corroboró que la hipótesis nula era la correcta, no fue necesaria ninguna prueba estadística adicional.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Para hallar el modelo matemático de predicción

Siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 4.8.1, el primer paso consta en verificar la presencia de una curvatura dentro de la zona de estudio que nos permita inferir la presencia de un punto máximo, o mínimo según sea el caso, en los datos recolectados mediante la experimentación (tabla N° 5.2 de la página 40), para esto, se hizo uso del Análisis de Varianza (ANVA) según indica Montgomery, y que es descrita a continuación.

Tabla N° 5.1 ANVA del experimento para un modelo de segundo orden

FUENTE DE VARIANZA	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F_c	F_t α=0.01
FACTOR A	1	6.78 x10 ⁴	6.78 x10 ⁴	271.36	21.20
FACTOR B	1	6.13 x10 ⁴	6.13 x10 ⁴	245.09	21.20
FACTOR A ²	1	2.47 x10 ⁴	2.47 x10 ⁴	98.71	21.20
FACTOR B ²	1	4.98 x10 ⁴	4.98 x10 ⁴	199.34	21.20
INTERACCIÓN AB	1	2.03 x10 ⁵	2.03 x10 ⁵	8.10	21.20
FALTA DE AJUSTE	3	1.72 x10 ⁴	5.72 x10 ⁵	22.87	21.20
ERROR PURO	4	1.00 x10 ⁵	2.50 x10 ⁶		
TOTAL	12	0.002			

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5.2 Rendimiento del proceso de extracción de pectina obtenido experimentalmente en el presente estudio

FACTORES DEL DISEÑO		RENDIMIENTO DEL PROCESO (g _{pectina} / g muestra) Real	RENDIMIENTO DEL PROCESO (g _{pectina} / g muestra) Teórico
pH	TEMPERATURA	PECTINA	PECTINA
2	80	0,061	0.053
3	80	0,079	0.076
2	100	0,08	0.075
3	100	0,089	0.089
2.5	90	0,087	0.088
2.5	90	0,088	0.088
2.5	90	0,089	0.088
2.5	90	0,086	0.088
2.5	90	0,09	0.088
3.21	90	0,089	0.089
1.79	90	0,056	0.063
2.5	104.14	0,082	0.084
2.5	75.86	0,053	0.059

Fuente: Elaboración propia

Habiéndose determinado que la falta de ajuste no es significativa estadísticamente para un alfa de 0,01 se procedió a ratificar al modelo de segundo orden, como válido para describir el proceso. Por tanto, se procedió al segundo paso, que era determinar el modelo matemático de predicción de la conducta del experimento,

utilizando una ecuación de segundo grado, la cual es descrita en la ecuación 3 de la página 19, utilizando el método de mínimos cuadrados anteriormente descrito. Llegando a determinar la siguiente ecuación N° 7

$$Y = -0,96993 + 0,17767X_1 + 0,01719X_2 - 0,00045X_1X_2 - 0,02375X_1^2 - 0,00008X_2^2 \dots (7)$$

Donde:

Y = Rendimiento del proceso de extracción de pectina (g pectina / g de muestra).

X₁ = pH (dentro del rango establecido en la tabla N° 4.3)

X₂ = Temperatura (dentro del rango establecido en la tabla N° 4.3)

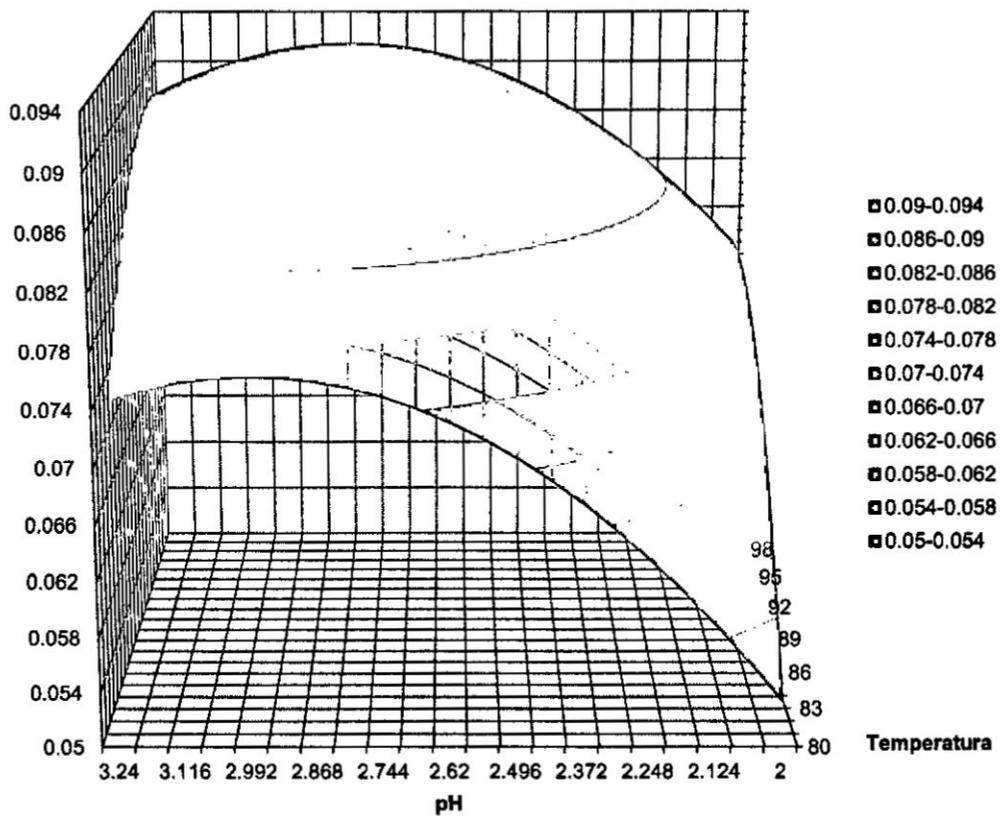
Además, como es de costumbre en este tipo de trabajos, se utilizará un indicador de la precisión del modelo llamado R², el cual indica la variabilidad del experimento explicado por el modelo. Correspondiéndole en el caso de este estudio un valor de 0,92. Lo cual es una prueba significativa del buen ajuste del modelo seleccionado.

5.2 Para determinar el punto de máximo rendimiento del proceso

En primer lugar se realizó la gráfica de superficie de respuesta para poder visualizar la zona de mayor rendimiento (gráfica N° 5.1 de la página 42) del experimento. Para esto se trazó en el plano basal los parámetros de del factor pH versus los del factor Temperatura, para los rangos de datos de la tabla N° 4.3 de la página 32, y sobre éstas

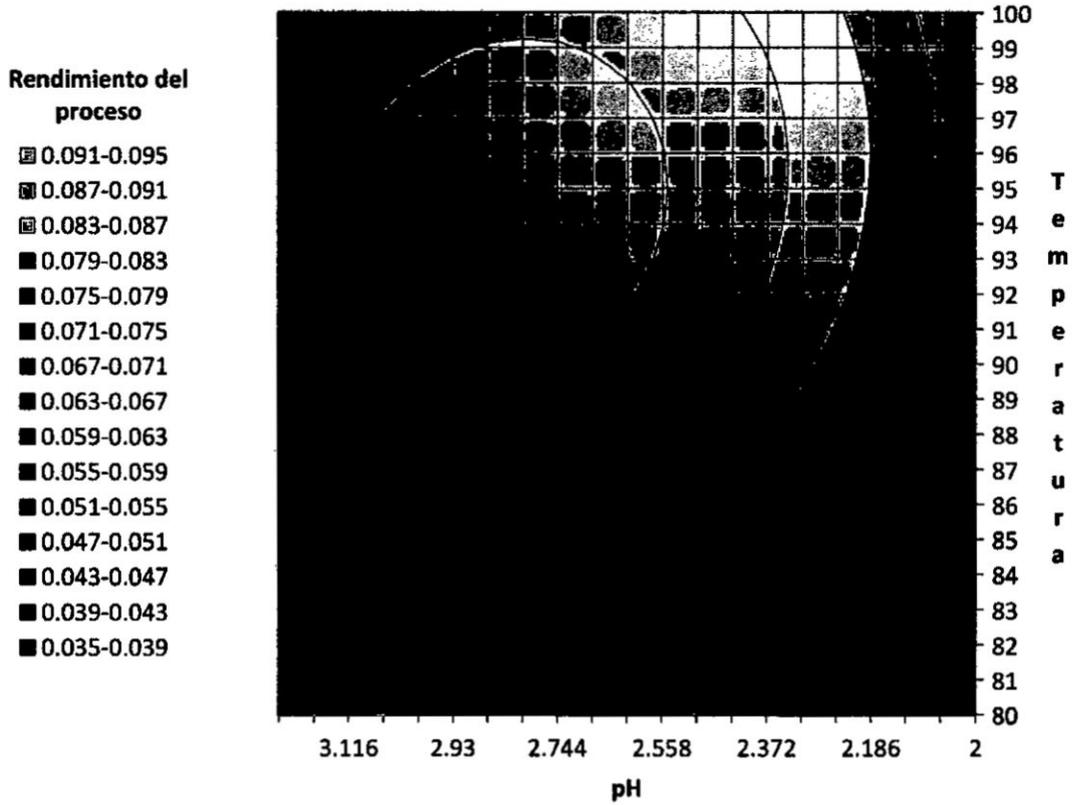
se alzó en vertical el rendimiento del proceso expresado en gramos de pectina versus gramos de la muestra sometida al proceso.

Gráfica N° 5.1 Superficie de respuesta del experimento



Llevando los valores del rendimiento a porcentajes, se puede apreciar que el máximo rendimiento del proceso está bordeando entre el 9 y 9.4% de pectina, en un proceso que depende en mayor medida del pH que de la temperatura, sin dejar de ser ambos significativamente influyentes en el proceso.

Gráfica N° 5.2 Gráfica de contornos del experimento



La gráfica de contorno que se acaba de presentar nos otorga una visión más exacta de la ubicación del punto de máximo rendimiento; sin embargo, para ser exactos en la determinación del punto de máximo rendimiento se procedió a la resolución de la ecuación N° 6 de la página 37, obteniéndose los siguientes valores para el punto de máximo rendimiento:

- **pH del proceso (X_1):** 2,847
- **Temperatura del proceso (X_2):** 94,260 °C
- **Rendimiento del proceso (Y):** 0,093 g de pectina / g de muestra

Consecuentemente en el proceso de extracción de pectina a partir de residuos industriales de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) se obtendrá el máximo rendimiento, correspondiente a 0,093 gramos de pectina por cada gramo de residuo de tomate de árbol empleado en el proceso, sólo si trabajo con un pH de extracción de 2,847 y una temperatura de 94,260 °C, y demás factores fijos que fueron descritos en el procedimiento del experimento (apartado N° 4.3.1)

Para verificar la veracidad de la ecuación determinada, se realizó una prueba con los parámetros encontrados y se compararon el valor teórico y el obtenido experimentalmente, según indica la Tabla N° 5.3, que se presenta a continuación.

Tabla N° 5.3 Comparación del Rendimiento del proceso de extracción de pectina obtenido experimentalmente y el valor teórico para el punto óptimo de máximo rendimiento encontrado en el estudio

FACTORES DEL DISEÑO		RENDIMIENTO DEL PROCESO (g _{pectina} / g _{muestra}) Real	RENDIMIENTO DEL PROCESO (g _{pectina} / g _{muestra}) Teórico
pH	TEMPERATURA	PECTINA	PECTINA
2.847	94.26	0,095	0.093

Fuente: Elaboración propia

5.3 Para determinar el grado de gelificación de la pectina de los residuos del tomate de árbol (*Solanum betaceum*)

Para este paso se recolectaron los datos tal y como se describió en el apartado N° 4.3.1 (tabla N° 5.4) y se procedió al análisis

estadístico indicado en el apartado N° 4.8.3, obteniéndose la tabla N° 5.5 de la página 46.

Tabla N° 5.4. Grado de gelificación de la pectina obtenida experimentalmente en el presente estudio

FACTORES DEL DISEÑO		GRADO DE GELIFICACIÓN
pH	TEMPERATURA	PROMEDIO (3 repeticiones)
2	80	80
3	80	86.67
2	100	80
3	100	93.33
2.5	90	86.67
3.21	90	93.33
1.79	90	80
2.5	104.14	86.67
2.5	75.86	80
2.85	94.26	93.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5.5. Análisis de varianza para determinar si existe diferencia significativa entre los diversos tratamientos

Fuente de Varianza	Grados Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F _c	F _t α=0.01
Entre tratamientos	9	920	102,22	1,28	3.46
Error	20	1600	80		
Total	29	2520			

Fuente: Elaboración propia

En este análisis de varianza se hicieron tres réplicas a los nueve tratamientos del experimento diseñado, para observar si el grado de gelificación variaba dentro del rango del estudio, y además se agregó a la prueba la pectina obtenida con los parámetros de máximo rendimiento que se acababan de determinar, haciendo un total de diez tratamiento con tres repeticiones cada una. Encontrándose que no existe diferencia significativa entre las medias de las muestras para un nivel de significancia del 1%. Siendo por tanto para el grado de gelificación de la pectina obtenida con los parámetros de máximo rendimiento de 93,33°, tal como lo indica la tabla N° 5.4 de la página 45.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 Contratación de las hipótesis con los resultados

- Sea la Hipótesis General: Realizando el proceso de extracción de pectina (entre pH 1,79 a pH 3,21) y temperaturas de 75,86 °C a 104,14 °C, se podrán determinar los parámetros óptimos de pH y temperatura para la máxima extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en un proceso de elaboración de néctar.

Se determinó que los parámetros óptimos o de máximo rendimiento del proceso se encontraban dentro de la región de estudio, tal y como lo indica el apartado N° 5.2 del presente estudio.

- Sea la Hipótesis Específica: Empleando el método de Superficies de Respuesta, se podrá determinar el modelo matemático que permitirá predecir el rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*).

El modelo matemático que se determinó en el estudio, al tratarse de una zona que describe un máximo rendimiento, perteneció a una ecuación de segundo grado, y está especificada en el apartado 5.1 del presente estudio.

6.2 Contratación de los resultados con otros estudios similares

Tal y como indica el apartado N° 5.2, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado N° 4.3 se obtuvieron como parámetros de

máximo rendimiento del proceso de extracción de pectina a partir de residuos industriales de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*), una temperatura de 94,260°C y un pH de extracción de 2,847, con un rendimiento pre dicho de 0,093 gramos de pectina por cada gramo de muestra sometida al proceso; obteniendo como grado de gelificación un 93,33°.

Si observamos otros estudios como los descritos anteriormente, se observan resultados de rendimiento de 1,4% de pectina en el tomate de árbol⁶, ello debido a que dicho rendimiento está en función a la totalidad del peso de fruto, mientras que en este estudio sólo se tomaron los desperdicios del mismo derivados de la industria procesadora de néctar de tomate de árbol, los cuales consistían en su mayoría de trozos de mesocarpio del fruto los cuales representaban en el mejor de casos un aproximadamente el 50% del peso total del fruto.

Otros estudios como el de Mérida⁹, quien trabajó con cáscaras de Parchita, un fruto de características físicas muy similares al tomate de árbol, describen parámetros de extracción de pectina de pH de 3,0; temperatura de 80°C y tiempo de 90 minutos, con un rendimiento de 0,33% con respecto al peso total del fruto. Parámetros muy cercanos a los que se obtuvieron en este estudio, sin embargo, la gran diferencia en cuanto al rendimiento del proceso, es normal debido a la composición distinta de ambos

frutos. Por otro lado Vásquez¹³ obtuvo a partir de la cáscara de plátano verde con un rendimiento de $7,65 \pm 1,41\%$, mediante extracción ácida a pH 3,0; una temperatura de 85°C y un tiempo de hidrólisis de 60 minutos, este proceso si tiene un rendimiento muy cercano al nuestro, debido tal vez, que Vásquez al igual que los autores del presente trabajo, no sometieron todo el fruto al proceso de extracción, sino sólo la parte más externa del fruto, lo que sin duda mejora el índice de rendimiento, pues como es sabido la pectina es un compuesto protector y de sostén en las plantas, por lo que es lógico considerar que su distribución en la planta estará asociada a las partes externas del mismo.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES

En función a los resultados obtenidos en el presente estudio se concluye que:

- Realizando el proceso de extracción de pectina (entre pH 1,79 a pH 3,21) y temperaturas de 75,86 °C a 104,14 °C, se pudo determinar los parámetros óptimos de pH y temperatura para la máxima extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*) en un proceso de elaboración de néctar. Siendo estos parámetros, para un alfa de 0.01, un pH de 2,847 y una temperatura de 94,260 °C, siempre y cuando se mantengan constantes los demás parámetros descritos en el apartado 4.3, siendo el máximo que se obtendrá 0,093 g de pectina / g de muestra. Por otra parte teniendo en cuenta, que en la fase de mezclado se mantuvo en constante agitación por 75 minutos, (Materia Prima más Solvente) a la temperatura indicada en la tabla N° 3.1 de la página 24.
- Empleando el método de Superficies de Respuesta, se pudo determinar el modelo matemático que permitirá predecir el rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (*Solanum betaceum*). Siendo este modelo el descrito en la ecuación N° 7

$$Y = -0,96993 + 0,17767X_1 + 0,01719X_2 - 0,00045X_1X_2 - 0,02375X_1^2 - 0,00008X_2^2 \dots (7)$$

- Con evidencia en los resultados obtenidos en la tabla N° 5.1 se puede concluir que el proceso de extracción de pectina cuando se realiza bajo los parámetros pre definidos en el diseño del experimento, depende en mayor fuerza del pH y en menor grado de la temperatura, en contraste con la interacción de ambos factores que resultó no tener influencia significativa en el experimento para un alfa de 0,01.
- El grado de gelificación de las pectinas obtenidas dentro de todo el rango de estudio se mantuvo sin variación estadística significativa con un alfa de 0,01, siendo el grado de gelificación de la pectina obtenida con los parámetros de máximo rendimiento del proceso un promedio de 93,33°.

CAPÍTULO VIII

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios donde se modifiquen más variables que afecten el proceso de extracción de pectina, tales como el tiempo de proceso o relación materia prima con solvente, con el objetivo de maximizar aún más el rendimiento del proceso aquí descrito.
- El estudio realizado es aplicado sólo a escala de laboratorio, pues los parámetros de máximo rendimiento aquí descritos no son sencillos de aplicar a la escala industrial, debido a la escala de medición de las máquinas, por lo que se recomienda, si desea aplicar el estudio a nivel industrial, hacer un análisis en los puntos circundantes a los aquí obtenidos a fin de obtener parámetros de fácil trabajo en las plantas industriales.
- Se recomienda hacer estudios de otros materiales de desperdicio en la industria de procesamiento de alimentos, con el objetivo de poder hacer uso de materiales que resultan contaminantes del medio ambiente, pero que sin embargo, pueden ser re utilizados o re procesados para así recuperar de ellos compuestos de interés industrial.

CAPÍTULO IX

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGULO, R.; 2008; Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*). Bayer CropScience. S.A. Bogotá, D.C.
2. CÁCERES P. Y RIVADENEIRA M.; 2009; En Extracción de pectina líquida a partir de cascaras de Maracuyá (*Passifloea edulis*) y su aplicación en el desarrollo de un producto de humedad intermedia.
3. CERÓN A., MEJÍA D., OSORIO O.; 2016; Cinética de inactivación térmica de la enzima pectinmetilesterasa en zumo de tomate de árbol (*Solanum betaceum*), Universidad de Nariño.
4. CHASQUIBOL N. *et al.*; 2008; "Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana"; Ingeniería Industrial n°26; ISSN 1025-9929; pp. 175-199.
5. DEVIA, Jorge. 2003. Proceso para producir pectinas cítricas. PP. 28.
6. FRANCO, G.; 1998; Industrialización del tomate de árbol. II Seminario frutales de Clima frío moderado; Manizales.
7. HART, L. Y FISHER, H. 1991. Análisis moderno de los alimentos. Zaragoza. España.
8. MACA M, OSORIO O., MEJÍA-ESPAÑA D.; 2013; Inactivación Térmica de la Pectinmetilesterasa en Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*). Universidad de Nariño.
9. MÉRIDA M.; 2013; Extracción de pectina de alto metoxilo a partir de cáscaras de parchita para la producción de mermelada; Facultad de

Ingeniería de la Universidad de Yucatán; Escuela de Ingeniería Química.

10. MUÑOZ F. Extracción y caracterización de la pectina obtenida a partir del fruto de dos ecotipos de cocona (*solanum sessiliflorum*), en diferentes grados de madurez; a nivel de planta piloto. Tesis para optar el título de Doctor. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2011. PP. 18-20, 40.
11. OAKENFULL, D. G.; 1991; The chemistry of high-metoxyl pectin gelation, en Walter, R. H. The chemistry and technology of pectin. Nueva York: Academic Press, Inc.
12. SHARMA, S. K.; LIPTAY, A. Y M. LE MAGUER; 1998; Molecular characterization, physico-chemical and functional properties of tomato fruit pectin; Food Research International, Vol. 30, núm. 7.
13. VASQUEZ R.*et al.*; 2008; "Extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB*, sub grupo plátano) clon HARTÓN"; Facultad de ingeniería; Universidad del Zulia; Rev. Fac. Agro. (LUZ) 2008, 25; 318-333.
14. BARRERA, L.L.; 1994; La fertilidad de los suelos de clima frío y fertilización de los cultivos; Fertilidad de suelos diagnósticos y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo; Bogotá; pp. 419-463.
15. AMAYA, J Y JULCA, J. 2006. Tomate de árbol. Trujillo. PP. 3.
16. ECUADOR, II- SICA; 2000; Estudio de cultivos No tradicionales: Tomate de Árbol, Quito.

17. ESCARRIA, R.C.; 1986; Tomate de árbol; Gobierno Departamental. Secretaría de Agricultura y Fomento del Valle; Cali.
18. CATALUNYAPLANTS; 2013; El tamarillo – árbol de tomates; obtenido de [http:// www.catalunyaplants.com/](http://www.catalunyaplants.com/); visitado en febrero del 2016.
19. ALBORNOZ, G.; 1989; Normas para el cultivo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) en el Ecuador. Boletín de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central el Ecuador. N° 1:120. 20 pp.
20. MANZANO J.; 2005; Características de frutos de tomate de árbol y sus relativos; Proc. Interamer Soc. Trop. Hort. 48: 149 – 151.
21. MEZA N. y MANZANO J. 2009; Características del fruto de tomate de árbol (*Cyphomandra betaceae* [Cav.] Sendtn) basadas en la coloración del arilo, en la Zona Andina Venezolana; Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA); Trujillo; pp: 290.
22. REYES, CH. R.; 1993; Tomate de árbol, Etnobotánica, n.2.
23. CAF; 2008; Manual técnico del cultivo de uvilla. Corporación andina de Fomento. Asistencia empresarial Agribusiness CIA. LTDA. Quito-Ecuador.
24. CÁRDENAS CONTRERAS, Z. E. 2009. Identificación de híbridos en lulo y tomate de árbol mediante el uso de marcadores COSII. Bogotá.
25. TAÍPE F. Y CHAMORRO A. 2011. Importancia de la Pectina Como Aditivo Alimentario en la Industria de Alimentos., pp. 1-2.

26. BRAVERMAN, J. B. S.; 1952; Los Agrios y sus Derivados; Aguilar S. A. de Ediciones. Madrid.
27. PILGRIM, G. W., WALTER, R. H. AND OAKENFULL, D. G.; 1991; Jams, Jellies, and Preserves; Chapter 2 en The Chemistry and Technology of Pectin; Walter, R. H. Academic Press. Inc. San Diego. pp: 23-50.
28. NWANEKESI, E.; ALAWUBA, O Y C. MKPOLULU; 1994; "Characterization of pectic substances from select tropical fruits". J. Sci. Technol. 31.
29. WILLATS, W. G. T.; KNOX, I. P. Y M. J. DALGAARD; 2006; Pectin: new insights into and old polymer are starting to gel; J.Sci. Technol. 17.
30. ROJAS J, PEREA A, STASHENKO E; 2008; Obtención de aceites esenciales y pectinas a partir de subproductos de jugos cítricos; Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, Vol 16, pag 110-115. Número 1; Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
31. FERREIRA, S.; 2007; Pectinas: aislamiento, caracterización y producción a partir de frutas tropicales y de los residuos de su procesamiento industrial; Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias; pp. 20.
32. YAMADA, H.; 1996; Contributions of pectins on health care. Pectins and pectinases: proceedings of an international symposium.

Wageningen, Países Bajos. Editado por Visser J, Voragen AGJ.
Amsterdam: Elsevier.

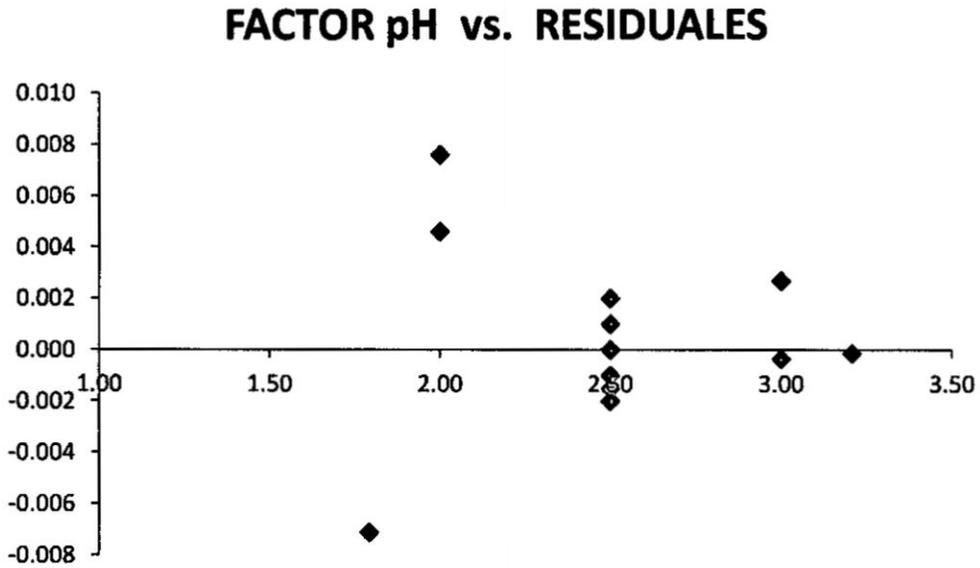
33. MONTGOMERY, D. 2002. Diseño y análisis de experimentos, pp: 427-500.
34. PRIMO Y.; 1992; Química Agrícola: Tecnología de productos alimenticios. Cuarta Edición. Tomo III. pp: 242 – 263. Editorial Alambra. México DF
35. NMX-F-083-1986. ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS
36. C. MOLLEA, F. CHIAMPO Y R. CONTI; 2008; Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study. Food Chemistry, nº 107, p. 1353–1356.

CAPÍTULO X
APÉNDICES

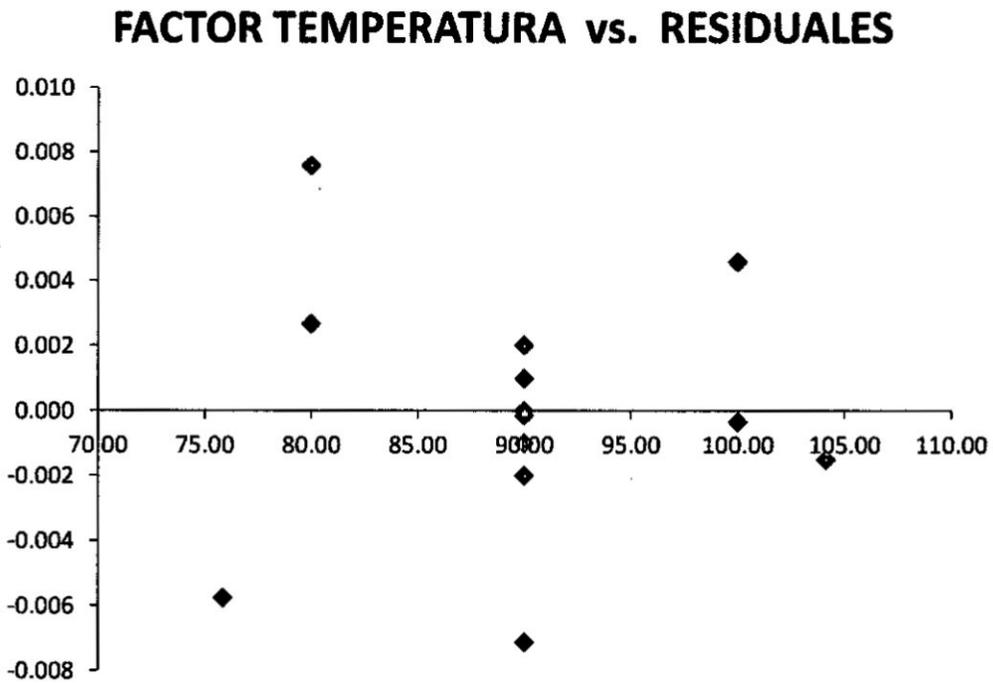
10.1 Matriz de consistencia

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE pH y TEMPERATURA PARA LA MÁXIMA EXTRACCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE TOMATE DE ÁRBOL (<i>Solanum betaceum</i>)					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES		
			TIPO	NOMBRE	INDICADORES
<p>¿Cuál es la relación óptima de pH y temperatura de extracción, para obtener el máximo rendimiento en el proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) en un proceso de elaboración de néctar?</p>	<p>Establecer la relación óptima de pH y temperatura de extracción, para obtener el máximo rendimiento en el proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) en un proceso de elaboración de néctar.</p>	<p>Ho: Realizando el proceso de extracción de pectina (entre pH 1,79 a pH 3,21) y temperaturas de 75,86 °C a 104,14 °C, se podrán determinar los parámetros óptimos de pH y temperatura para la máxima extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) en un proceso de elaboración de néctar.</p>	VARIABLES INDEPENDIENTES	pH	1,79
					2
2,5					
3					
3,21					
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS			VARIABLES DEPENDIENTES	TEMPERATURA
			80 °C		
			90 °C		
			100 °C		
			104,14 °C		
			RENDIMIENTO DE PECTINA		
GRADO DE GELIFICACIÓN	Prueba de la sacarosa				
<p>Problema específico 1: ¿Cuál será la ecuación matemática que prediga del rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>)?</p>	<p>Objetivo específico 1: Determinar la ecuación matemática que permitirá predecir el rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas del tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) mediante el método de superficie de respuestas.</p>	<p>H1: Empleando el método de Superficies de Respuesta, se podrá determinar el modelo matemático que permitirá predecir el rendimiento del proceso de extracción de pectina de las mermas de tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>).</p>			

10.2 Gráfica de valores del pH versus los Residuales



10.3 Gráfica de valores de la temperatura versus los Residuales



10.4 Prueba de Levine modificada, para la verificación del supuesto de igualdad de Varianza del ANVA para el grado de gelificación

Fuente de Varianza	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Ft $\alpha=0.01$
Entre Tratamientos	8	4.9	0.61	0.14	3.71
Error	18	78.06	4.34		
Total	26	82.96			

10.5 Imágenes de la realización del estudio

a) Tomate de árbol (*Solanum betaceum*)



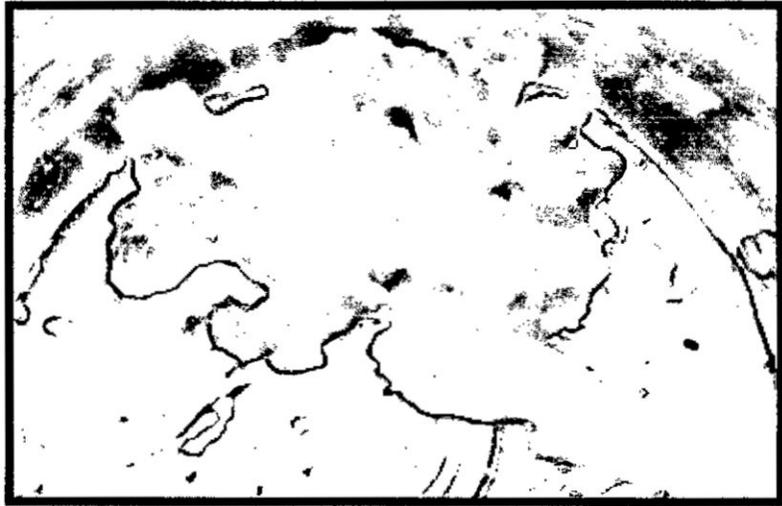
**b) Recepción de las mermas de tomate de árbol (*Solanun
betaceum*)**



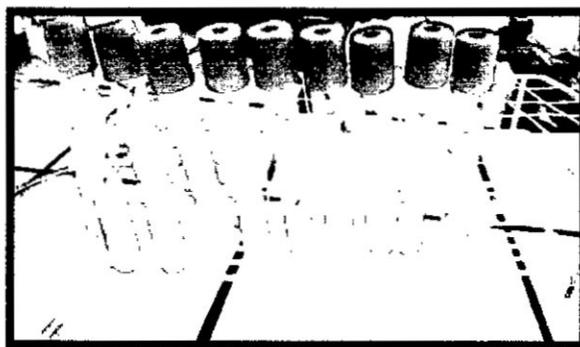
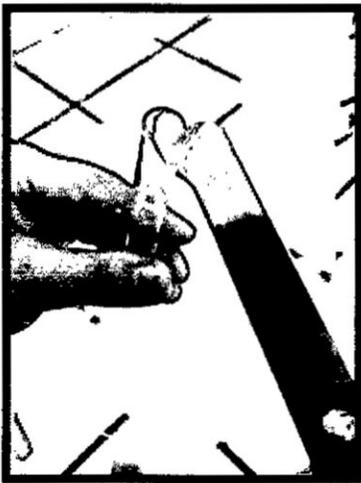
c) Cáscaras de tomate de árbol después del pulpeado



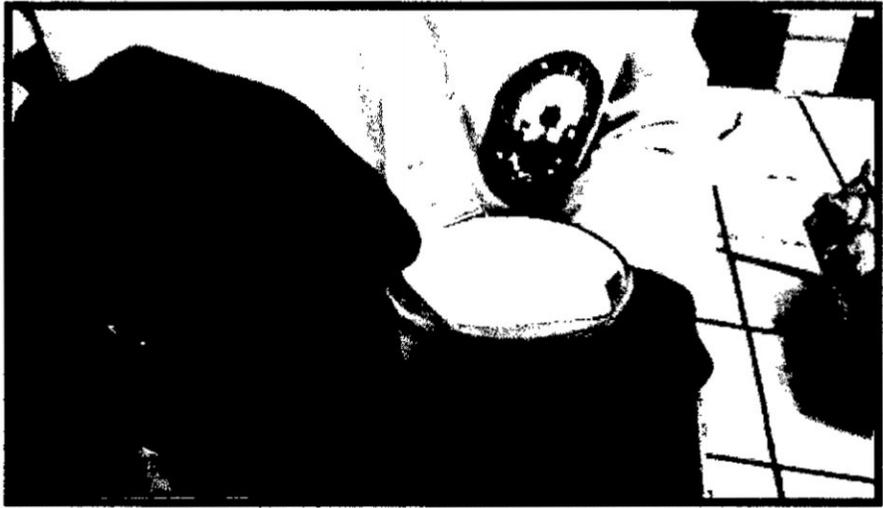
d) Pulpa de tomate de árbol que ingresó al proceso de extracción de pectina



e) Proceso de extracción de la pectina

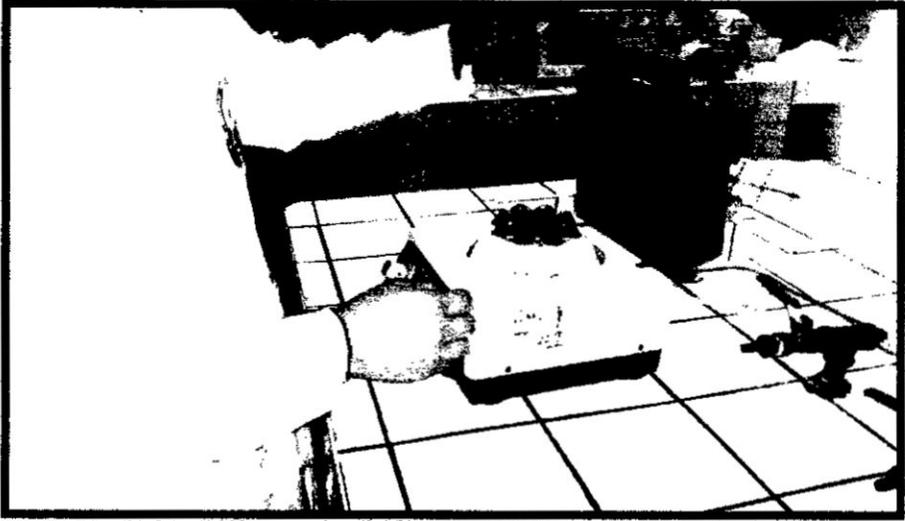


Proceso de extracción de la pectina

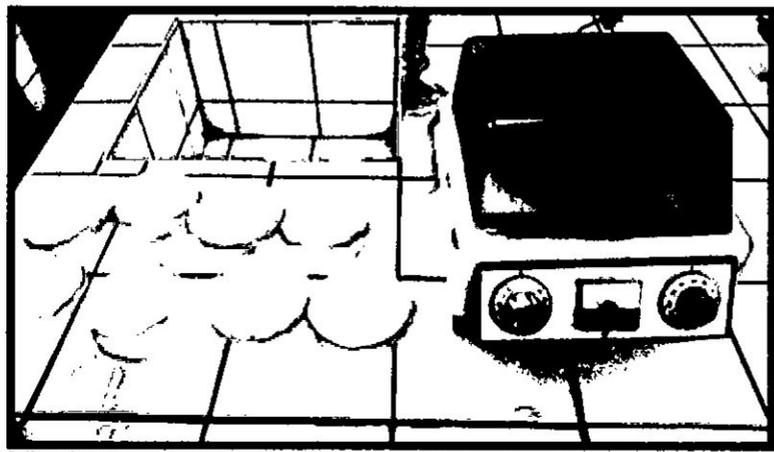
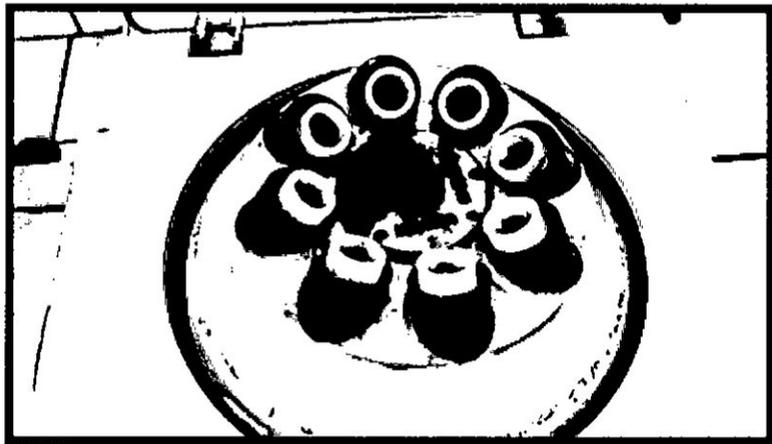
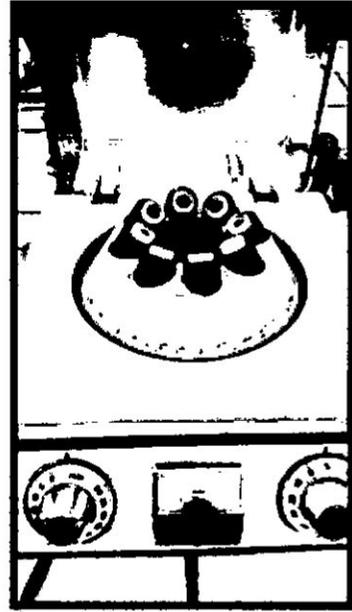
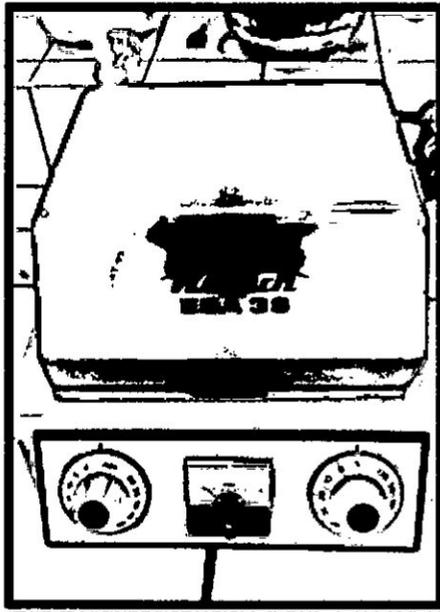




f) **Precipitación alcohólica de la pectina con ayuda de la centrifuga**



Precipitación alcohólica de la pectina con ayuda de la centrifuga



g) Prueba del grado de gelificación



CAPÍTULO XI

ANEXOS

11.1 Cuadro De Microsoft Excel

- Para el presente trabajo de investigación, titulado “Determinación De Parámetros Óptimos De Ph Y Temperatura Para La Máxima Extracción De Pectina A Partir De Residuos Industriales De Tomate De Árbol (*Solanum Betaceum*)”, se empleó el programa (Microsoft Excel - versión 2010). A continuación se mostrará la hoja de cálculo – plantilla, utilizada para las gráficas y cuadros realizados, a fin de hallar el punto óptimo para obtener el máximo rendimiento de extracción de pectina.