



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

**EXTRACCIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE MUCÍLAGO CONTENIDO EN LAS AGUAS
MIELES DEL BENEFICIADO DE CAFÉ POR MACERACIÓN DINÁMICA Y ESTÁTICA**

Héctor Armando Mendoza Yalibat

Asesorado por el Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez

Guatemala, enero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EXTRACCIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE MUCÍLAGO CONTENIDO EN LAS AGUAS
MIELES DEL BENEFICIADO DE CAFÉ POR MACERACIÓN DINÁMICA Y ESTÁTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HÉCTOR ARMANDO MENDOZA YALIBAT
ASESORADO POR EL ING. ADRIÁN ANTONIO SOBERANIS IBÁÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ENERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas Valdez
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Jorge Emilio Godínez Lemus
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EXTRACCIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE MUCÍLAGO CONTENIDO EN LAS AGUAS MIELES DEL BENEFICIADO DE CAFÉ POR MACERACIÓN DINÁMICA Y ESTÁTICA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha el 28 de noviembre de 2013.

Héctor Armando Mendoza Yalibat

Guatemala 24 de Septiembre de 2015

Ingeniero

Víctor Manuel Monzón Valdez

Director de Escuela de Ingeniería Química

Escuela de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería USAC

Presente

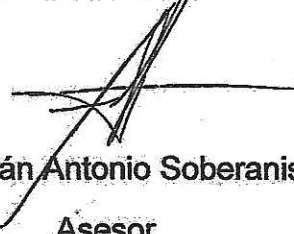
Estimado Ingeniero Monzón Valdez:

Informo a usted que he revisado el Informe Final del Trabajo de Graduación titulado: **"EXTRACCIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE MUCÍLAGO CONTENIDO EN LAS AGUAS MIELES DEL BENEFICIADO DE CAFÉ POR MACERACIÓN DINÁMICA Y ESTÁTICA"**, del estudiante: Héctor Armando Mendoza Yalibat que se identifica con el carné: 2008-15245.

Después de haber realizado la revisión del Informe Final y haber hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Qco. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez

Asesor

Colegiado No. 1515

Adrian Soberanis
Ingeniero Químico
Colegiado 1515

Guatemala, 03 de noviembre de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF,077.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **183-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por el estudiante universitario: **Héctor Armando Mendoza Yalibat**.
Identificado con número de carné: **2008-15245**.
Previo a optar al título de **INGENIERO QUÍMICO**.


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

EXTRACCIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE MUCÍLAGO CONTENIDO EN LAS AGUAS MIELES DEL BENEFICIADO DE CAFÉ POR MACERACIÓN DINÁMICA Y ESTÁTICA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Adrián Antonio Soberanis Ibáñez**.

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

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Ing. Adela María Marroquín González
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación




C.c.: archivo

Ref.EIQ.TG.001.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación del estudiante, **HÉCTOR ARMANDO MENDOZA YALIBAT** titulado: "EXTRACCIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE MUÇÍLAGO CONTENIDO EN LAS AGUAS MIELES DEL BENEFICIADO DE CAFÉ POR MACERACIÓN DINÁMICA Y ESTÁTICA". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, enero 2016

Cc: Archivo
CSWD/de



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EXTRACCIÓN DE PECTINAS A PARTIR DE MUCÍLAGO CONTENIDO EN LAS AGUAS MIELES DEL BENEFICIADO DE CAFÉ POR MACERACIÓN DINÁMICA Y ESTÁTICA**, presentado por el estudiante universitario: **Héctor Armando Mendoza Yalibat**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, enero 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la sabiduría necesaria para culminar una etapa más en mi vida.
- Mis padres** Hector Armando Mendoza Herrera y Magda Patricia Yalibat, por ser mi mayor ejemplo de superación, estoy orgulloso de ustedes, por brindarme su amor incondicional y educarme con valores éticos y morales que me permitieron ser una persona de bien.
- Mi hermano** Hector Daniel Mendoza Yalibat, por influir positivamente en mi vida, dándome su apoyo, y compartir los buenos y malos momentos. Gracias.
- Mis abuelos** Zoila y Yolanda Yalibat, Mauricio Marroquín (q. e. p. d.), Mirtala Herrera (q. e. p. d.), por su apoyo y palabras de aliento que ayudaron a que alcanzara una meta más en mi vida, por ser una fuente de enseñanzas y superación.

Mi familia

A mis tíos y primos, con quienes he compartido en el caminar de mi vida los más lindos momentos y apoyarme en el transcurso de mi vida.

Mis amigos

Por dejarme aprender con y de ellos y compartir a su lado durante estos años.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y darme el privilegio de formarme bajo su techo.
Facultad de Ingeniería	Por formarme profesionalmente, brindándome el conocimiento necesario para que ejerza mi profesión con valores éticos.
Mis padres	Héctor Armando Mendoza Herrera y Magda Patricia Yalibat, por haberme dado la vida y servirme de ejemplo e inspiración.
Mi hermano	Héctor Daniel Mendoza Yalibat, por el cariño y apoyo brindado en todo momento.
Mis abuelos	Zoila y Yolanda Yalibat, Mauricio Marroquín (q. e. p. d.), Mirtala Herrera (q. e. p. d.), por brindarme su amor y estar al tanto de mí siempre.
Mi familia	Gracias por sus invaluable consejos y apoyo durante toda mi vida.

Mis amigos

Hugo Chub, Erick López, Paola Méndez, Ana Montes, Gabriela Sierra, Akassia Hengstenberg, Mercedes Perez, Luis Chen, Santiago Chavez, Cristhian Oliva, Erik Castañeda, Stefanie Montenegro, Danilo Ajcip, Edy Payes, María José Ponce, Miguel Martínez; sé que están compartiendo esta alegría.

Mi asesor

Ingeniero Adrián Soberanis, por sus consejos, colaboración y orientación en todo el transcurso de mi trabajo de investigación.

**Asociación Nacional del
Café (Anacafé)**

Ing. Edgar López, Ing. Daniel Santos, por su colaboración y apoyo en mi trabajo de graduación.

Mi novia

Sandra Ayala, por su apoyo incondicional.

Ing. Mario Mérida

Por su colaboración en el préstamo de equipo para realizar mi investigación.

**Finca La Ilusión y el
Obraje**

Por facilitarme el proceso para la obtención de la materia prima.

Licda. Silvana Valdizón

Por su apoyo y motivarme a seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Proceso de beneficiado húmedo de café	3
2.1.1. Recolección del fruto	3
2.1.2. Recibo y clasificación del fruto.....	4
2.1.2.1. Recibo	4
2.1.2.2. Clasificación del fruto.....	5
2.1.3. Despulpado del fruto.....	6
2.1.4. Clasificación del café despulpado.....	7
2.1.4.1. Las zarandas	7
2.1.4.2. Criba rotativa	8
2.1.5. Remoción del mucílago del café despulpado	8
2.1.5.1. Fermentación natural.....	9
2.1.5.2. Desmucilaginado mecánico	9
2.1.6. Lavado del café fermentado	10
2.1.6.1. Lavado manual	11

	2.1.6.2.	Lavado mecánico	11
	2.1.7.	Secamiento del café lavado	12
	2.1.7.1.	Secado natural	13
	2.1.7.2.	Secado mecánico.....	13
2.2.		Caracterización de los subproductos del beneficiado de café	15
	2.2.1.	Generalidades y conceptos principales.....	15
	2.2.2.	Agua miel	15
	2.2.2.1.	Mucílago.....	16
2.3.		Pectinas	17
	2.3.1.	Conceptos generales	17
	2.3.2.	Clasificación de las sustancias pécticas.....	18
	2.3.3.	Estructura y composición	19
	2.3.4.	Mecanismo de reacción para la extracción de pectinas.....	23
	2.3.5.	Propiedades generales	24
	2.3.6.	Presencia y función biológica	25
	2.3.7.	Usos y aplicaciones de las pectinas.....	25
	2.3.8.	Fuente de pectina convencionales y no convencionales.....	26
	2.3.9.	Métodos de identificación	27
3.		DISEÑO METODOLÓGICO.....	29
	3.1.	Variables	29
	3.1.1.	Variables de control.....	29
	3.2.	Delimitación de campo de estudio	31
	3.2.1.	Campo de estudio	31
	3.2.2.	Procesos que conforman la investigación	31
	3.2.3.	Material de estudio	31

3.2.4.	Material que conforma la pectina.....	32
3.2.5.	Material de control de la investigación.....	32
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	32
3.3.1.	Investigador.....	32
3.3.2.	Asesor de investigación.....	33
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	33
3.4.1.	Recursos físicos disponibles.....	33
3.4.2.	Recursos materiales disponibles.....	34
3.4.2.1.	Materia prima.....	34
3.4.2.2.	Materiales y equipo.....	34
3.4.2.3.	Reactivos.....	35
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	35
3.5.1.	Técnica cuantitativa.....	35
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	36
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	38
3.7.1.	Tamaño del muestreo.....	38
3.7.2.	Tabulación y ordenamiento de los datos.....	39
3.8.	Análisis estadístico.....	41
3.8.1.	Análisis de varianza (Anova).....	41
3.8.2.	Prueba de Tukey.....	41
4.	RESULTADOS.....	43
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	53
	CONCLUSIONES.....	59
	RECOMENDACIONES.....	61
	BIBLIOGRAFÍA.....	63

APÉNDICES.....67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Pectinas de alto grado de metóxilo con un 80 % GE	22
2.	Pectina de bajo grado de metóxilo con un 20 % GE	22
3.	Mecanismo de hidrólisis catalizada por ácido	23
4.	Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido sulfúrico y el método de maceración dinámica.....	43
5.	Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido tartárico y el método de maceración dinámica.	44
6.	Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido cítrico y el método de maceración dinámica.....	45
7.	Comparación gráfica del rendimiento de extracción con respecto a la variación de pH en las soluciones para cada uno de los agentes extractores a utilizar por medio del método de maceración dinámica. ...	46
8.	Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido sulfúrico y el método de maceración estática.....	47
9.	Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido tartárico y el método de maceración estática.	48
10.	Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido cítrico y el método de maceración estática.....	49

TABLAS

I.	Composición química del mucílago.....	17
II.	Pruebas de identificación de la pectina obtenida	27

III.	Definición operacional de las variables del lavado de la materia prima ...	30
IV.	Definición operacional de las variables de la hidrólisis ácida para la extracción de la pectina	30
V.	Técnica cuantitativa	36
VI.	Datos obtenidos en la preparación de la materia prima	39
VII.	Magnitudes constantes en la extracción de pectinas por hidrólisis ácida.....	39
VIII.	Obtención de pectina a diferente pH y agente extractor	40
IX.	Rendimiento de extracción.....	40
X.	Modelo matemático de la figura 4	44
XI.	Modelo matemático de la figura 5	45
XII.	Modelo matemático de la figura 6	46
XIII.	Rendimiento de extracción medio y desviación estándar para el método de maceración dinámica utilizando como agente extractor el ácido sulfúrico	49
XIV.	Rendimiento de extracción medio y desviación estándar para el método de maceración dinámica utilizando como agente extractor el ácido tartárico	50
XV.	Rendimiento de extracción medio y desviación estándar para el método de maceración dinámica utilizando como agente extractor el ácido cítrico.....	50
XVI.	Porcentaje de disociación del ácido sulfúrico.....	51
XVII.	Porcentaje de disociación del ácido tartárico	51
XVIII.	Porcentaje de disociación del ácido cítrico	51
XIX.	Constante dieléctrica de los agentes extractores.....	52
XX.	Observaciones cualitativas sobre la pectina obtenida	52

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
HCl	Ácido clorhídrico
cm	Centímetro
DQO	Demanda química de oxígeno
°Bx	Grados Brix
°C	Grados Celsius
g	Gramo
NaOH	Hidróxido de sodio
h	Hora
Kg	Kilogramo
L	Litro
mL	Mililitro
min	Minuto
N	Normalidad
oz	Onza
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
rpm	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Ácido débil	Es aquel ácido que no está totalmente dissociado en una disolución acuosa. Aporta iones hidronio al medio, pero también es capaz de aceptarlos.
Ácido fuerte	Es un ácido que se disocia casi por completo en solución acuosa para ganar electrones.
Desmucilagador	Es un una máquina que remueve el mucílago del grano mediante fuerzas de fricción generadas por distintos tipos de máquinas. Permite realizar la remoción rápida del mucílago. El uso de esta máquina permite reducir significativamente la utilización de agua en el beneficiado de café.
DQO	Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltos o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/l).
Emulsificante	Sustancia que ayuda a la mezcla de dos sustancias que normalmente son poco miscibles o difícil de medir.

Se denomina así también a los aditivos alimentarios encargados de facilitar el proceso de emulsión de los ingredientes.

Esterificación

Es el 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.

Gelificantes

Los gelificantes se utilizan para espesar y estabilizar los alimentos líquidos, dándoles así textura. Aunque cumplen un propósito muy similar al de los espesantes, los gelificantes, como sugiere su nombre son capaces de formar geles.

Hidrólisis ácida

Es un proceso en el que un ácido prótico se utiliza para catalizar una reacción química de sustitución nucleófila, con la adición de agua.

Maceración

Operación que consiste en sumergir un sólido vegetal en un líquido para extraer de él sus partes solubles.

Mucílago

Es un hidrogel (sistema coloidal líquido liofílico) que posee una carga orgánica, el mucílago representa entre el 20 y 22 % del peso del fruto y conforma una importante proporción de la carga orgánica potencial, por su alto contenido de azúcares, pectinas y ácidos orgánicos.

Pectina

Son 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 constituye el 30 % del peso seco de la pared celular primaria de células vegetales. En presencia de agua forman geles.

pH

Valor que representa convencionalmente la concentración de iones de hidrógeno de una disolución acuosa.

Polimerización

Proceso químico por el que los reactivos, monómeros se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, o bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo la extracción de pectinas a partir del mucílago proveniente de las aguas mieles del beneficiado de café, por medio de una maceración dinámica y estática a nivel laboratorio. Para poder cuantificar el rendimiento que se tiene en la reacción se hizo una variación de acidez ya que por medio de una hidrólisis ácida se realizó dicha extracción. Para el caso de la hidrólisis ácida se utilizó los siguientes ácidos: ácido cítrico, tartárico y sulfúrico y como equipo de extracción el *beacker*.

Con el estudio se determinó el valor de pH y el agente extractor ácido, óptimo para la extracción de las pectinas presentes en el mucílago del café a nivel laboratorio.

Para ello se recolectó muestras de aguas mieles que contienen mucílago de café, luego se realizó una separación para retirar partículas como pulpa, granos de café que provinieran del desmucilaginador. El proceso de hidrólisis ácida se realizó para tres diferentes ácidos y cinco variaciones en el pH de cada uno de los ácidos que se utilizaron.

Al volumen que resultó de la hidrólisis se le ajustó el pH a cuatro, para que la pectina que se formó, estuviera en un medio estable, luego se le agregó una cantidad de alcohol etílico, con el cual se dejó reposar cada muestra por veinticuatro horas para completar dicha extracción.

Por medio de un análisis de varianza y por medio gráfico se determinó el rendimiento de extracción, el agente extractor ácido y método óptimo para obtener pectina a partir de las aguas mieles del beneficiado de café, dando como resultado una extracción del $20,987\% \pm 1,301$ utilizando el ácido sulfúrico como agente extractor, se obtuvo un $15,353\% \pm 2,040$ de extracción utilizando el ácido tartárico y $9,240 \pm 0,280$ de extracción al utilizar el ácido cítrico como agente extractor, dichos valores se obtuvieron a un pH de 3,5. Se determinando así que la extracción que tuvo el mejor rendimiento fue a un pH igual a 3,5 y utilizando ácido sulfúrico como agente extractor, al realizar la comparación entre las gráficas se observó que a un pH de 3,5 los agentes extractores presentan su máximo rendimiento de extracción de pectina cruda.

Para generalizar el proceso de extracción se obtuvo un modelo matemático de orden cuatro, para dicho modelo se utilizó el del ácido sulfúrico ya que este es el que presenta mayor porcentaje de extracción, dicho modelo se presenta a continuación $\%RE = -16,231pH^4 + 164,34pH^3 - 602,98pH^2 + 956,05pH - 549,02$. Se determinó que el mejor método de extracción fue por maceración dinámica, ya que con ello se alcanza más rápido al equilibrio y se obtiene una mayor extracción.

Con la investigación realizada se pudo determinar que sí se puede obtener pectinas provenientes de las aguas mieles del beneficiado de café, dichas pectinas tienen consecuencias positivas al uso de las aguas residuales obtenidas en el beneficiado de café, ayudando así a la disminución de la contaminación al medio ambiente.

La pectina obtenida, puede tener aplicación en la industria de alimentos como espesante, confiere buena textura y brillo a los postres, en la industria farmacéutica como vehículo para la administración de fármacos en el tracto

gastrointestinal como perlas de gel, y en la producción de membranas selectivas para el tratamiento de aguas residuales.

Dicha investigación se realizó bajo las condiciones de 22 °C de temperatura y 0,868 atmósferas de presión.

OBJETIVOS

General

Extraer pectinas a partir de mucílago contenido en las aguas mieles del beneficiado de café por maceración dinámica y estática a nivel laboratorio, utilizando diferentes agentes extractores y variando la acidez de las soluciones para determinar la combinación adecuada y obtener un rendimiento de extracción óptimo.

Específicos

1. Determinar cuál de los agentes extractores es el adecuado para obtener un rendimiento de extracción óptimo a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*.
2. Determinar la acidez adecuada para la extracción de pectinas para obtener un rendimiento de extracción óptimo a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*.
3. Realizar una comparación gráfica del rendimiento de extracción con respecto a la variación de pH en las soluciones para cada uno de los agentes extractores a utilizar.
4. Obtener un modelo matemático para generalizar el proceso de extracción de pectinas a nivel laboratorio, provenientes del mucílago del café.

5. Determinar que método a utilizar es más eficiente para obtener un rendimiento de extracción óptimo a nivel laboratorio.
6. Describir cualitativamente las características de la pectina obtenida a nivel laboratorio y usos de la pectina obtenida.

Hipótesis

Hipótesis de trabajo

Es posible obtener pectina a partir del mucílago del café con diferentes agentes extractores ácidos y variando el pH de la mezcla en un proceso de maceración dinámica y estática a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*.

Hipótesis de investigación (Hi, 1):

Existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción de la pectina contenida en el mucílago del café, con diferentes agentes extractores para los procesos de maceración dinámica y estática a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*.

Hipótesis de investigación (Hi, 2):

Existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción de la pectina contenida en el mucílago del café, con diferentes variaciones de pH para los procesos de maceración dinámica y estática a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*.

Hipótesis nula (Ho, 1):

No existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción de la pectina contenida en el mucílago del café, con diferentes agentes extractores para los procesos de maceración dinámica y estática a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*.

Hipótesis nula (Ho, 2):

No existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción de la pectina contenida en el mucílago del café, con diferentes variaciones de pH para los procesos de maceración dinámica y estática a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*.

INTRODUCCIÓN

Las pectinas son sustancias vegetales presentes en las plantas, principalmente en sus frutos, la característica principal es que son agentes gelificantes naturales. Estas macromoléculas son polisacáridos altamente hidrofílicos que pueden absorber agua cinco y hasta quinientas veces su propio peso. La estructura básica la forman moléculas de ácido D-galactorónico unidas por enlaces glicosídicos B-1-4, que constituyen el ácido poligalacturónico.

Las pectinas son de gran interés para la industria de alimentos ya que se utilizan ampliamente como aditivos por sus propiedades espesantes y gelificantes, en productos tales como: gelatinas, mermeladas y conservas vegetales, cuya obtención se puede realizar por distintos métodos como son: hidrólisis química, enzimática, entre otros.

Sin embargo, es posible utilizar el mucílago contenido en las aguas mieles del beneficiado de café, para la extracción de pectinas, y así minimizar el impacto ambiental que producen estas aguas debido a su alto contenido de material orgánico.

La importancia de estudios que radiquen en el aprovechamiento de los residuos del beneficiado de café radica en generar alternativas de ingreso, provenientes de recursos que pese a su potencial económico son material de desecho causantes de problemas ambientales. Uno de los residuos con prometedor potencial es el mucílago que se encuentra en las aguas mieles del beneficiado de café, el cual es una fuente de pectinas.

La presente investigación se enfoca en la posibilidad y factibilidad de obtener pectinas a partir de las aguas mieles del beneficiado de café por el método de hidrólisis ácida, encontrando el pH y agente extractor ácido óptimo, para obtener un rendimiento de extracción óptimo a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*.

1. ANTECEDENTES

El estudio de las pectinas es muy amplio debido a que es fundamental para la producción de ciertos alimentos, cosméticos e incluso medicamentos. Su uso en la industria alimenticia radica, en sus propiedades espesantes, emulsificantes y gelificantes; características esenciales en la producción de: mermeladas, salsas, helados, cremas y bebidas, entre otros. Se sabe que la pectina es un coloide por excelencia que tiene la propiedad de absorber una gran cantidad de agua, pertenece a los polisacáridos, y se encuentra en la mayoría de los vegetales. Las pectinas juegan un papel fundamental en el procesamiento de los alimentos como aditivo y como fuente de fibra dietética. Los geles de pectinas son importantes para crear o modificar la textura de compotas, jaleas, confites y productos lácteos bajos en grasa.

En 1974, Orozco, S., R.A. en Primer Reunión Internacional sobre la *Utilización de subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales*, se hace una publicación sobre la obtención de pectinas a partir del mucilago del café, subproductos e industrias conexas.

En 2005, Italia, Departamento de Biología de la Universidad de Trieste, Rajkumar Rathinavelu y Giorgio Graziosi, hacen mención de los posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café.

En 2008, Maracaibo, Venezuela, Universidad del Zulia, R. Vásquez, et al. hacen una publicación de un artículo científico el cual trata sobre la extracción de pectina a partir de la cáscara de plátano clon Hartón, en el cual existen

especificaciones y parámetros a tomar en cuenta para realizar esta investigación.

En 2009, Antioquia, Colombia, Centro de la Ciencia y la Investigación Farmacéutica (CECIF), John Jaime Zapata Feria hace una publicación en la revista Magazine del CECIF, donde se desarrolla una metodología para la extracción de pectinas en la cual se analizan parámetros tales como el pH, la concentración del agente extractor y el tiempo de hidrólisis, entre otros.

El tema de investigación fue de tipo exploratorio, por lo que se necesitaron pruebas preliminares para poder definir ciertos parámetros, para que sea técnicamente factible la extracción de pectinas provenientes de las aguas mieles del café.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Proceso de beneficiado húmedo de café

Se define como la transformación del fruto de café maduro a café pergamino seco de punto comercial, a través de las siguientes etapas:

Recolección del fruto, recibo y clasificación del fruto, clasificación del café despulpado, remoción del mucílago del café despulpado, lavado del café fermentado, clasificación del café lavado, secamiento del café lavado.

2.1.1. Recolección del fruto

En esta primera etapa del proceso es importante recolectar únicamente los frutos que estén completamente maduros. Cortar y mezclar frutos verdes, semimaduros (bayo, sacan, camagüe), sobremaduros, brocados, secos, enfermos, entre otros, dificulta el proceso de beneficiado y alteran la calidad del producto final. Además pueden afectar los rendimientos.

Para la recolección se debe tener en cuenta las condiciones climatológicas que prevalecen en la finca, por ejemplo: la época muy lluviosa hará que la maduración se retrase y provoque la caída del fruto, principalmente el maduro, también la época de la canícula tiene como consecuencia maduraciones prematuras, por ello se debe estar preparado para estos inconvenientes contando con suficientes cortadores.

Todos los útiles de recolección deben limpiarse después de cada día de trabajo para evitar frutos rezagados que podrían dañar la partida del día siguiente.

2.1.2. Recibo y clasificación del fruto

Se debe recibir solo fruto maduro, no deben mezclarse o recibirse partidas de diferentes días de corte, se debe clasificar con las manos y con agua para eliminar cualquier fruto indeseable, también debe limpiarse diariamente el receptor y el sistema de clasificación del fruto para evitar daños a la partida del siguiente día, al quedarse frutos rezagados.

2.1.2.1. Recibo

Se debe recibir solo fruto maduro, no deben mezclarse frutos de diferentes días de corte.

La cantidad a recibir, va a depender de cómo avanza la maduración. La densidad aparente del café maduro es de 13,5-14 quintales de fruto por metro cúbico, dependiendo de la variedad y la altura sobre el nivel del mar.

Existen dos formas de recibo: por peso que se efectúa en romanas, básculas y pesas electrónicas y por volumen a través de cajas de madera o lámina, con capacidad de 100, 50, 25, 10 y 6,25 libras.

Los receptores más comunes en Guatemala son: tanque sifón tradicional, semiseco y seco.

El tanque sifón requiere de grandes cantidades de agua, además de recibir clasifica los frutos indeseables que por su menor peso flotan, tal es el caso del fruto seco, vano, enfermo, brocado, entre otros.

Los recibidores semiseco y seco se diseñan con base en el 50 % del fruto del día pico; los semiseco conducen el café por erosión y arrastre, ocasionado por el agua y el peso del fruto, en un piso con desnivel del 5 %, utilizando agua reciclada mediante bombeo. La ventaja de este recibidor es que es de fácil construcción y su profundidad promedio es de un metro.

El recibidor seco, es una instalación cónica invertida, con pendiente mínima de 45 grados, de cuatro lados, diseñado para trabajar sin agua. Por gravedad descarga directamente el fruto a los despulpadores. Es necesario contar con topografía inclinada, para facilitar su construcción.

2.1.2.2. Clasificación del fruto

Es una de las etapas del proceso de beneficiado húmedo que nunca se debe eliminar, es necesaria, dado que las plantaciones de café son afectadas por plagas y enfermedades, que generan frutos de menor densidad (flotes y vanos), por lo que se debe clasificar el fruto en sifones de paso continuo de un metro cúbico de capacidad y sistemas de cribado para flotes. También separan piedras y basuras que pueden provocar deterioro a la maquinaria de despulpado, se deben limpiar diariamente para evitar granos rezagados, que podrían dañar la partida del día siguiente.

2.1.3. Despulpado del fruto

Es la fase mecánica del proceso en la que el fruto es sometido a la eliminación de la pulpa (epicarpio), se realiza con máquinas que aprovechan la cualidad lubricante del mucílago del café, para que por presión suelten los granos. Si la operación se realiza dañando el pergamino o el propio grano, entonces el defecto permanecerá a través de las distintas etapas del beneficiado, provocando trastornos en el punto de fermentación y secamiento, alterando por consiguiente la calidad de la bebida.

Como los sistemas de despulpado funcionan en forma mecánica, es imposible despulpar completamente frutos de distintos tamaños, por eso es preferible que pase fruto sin ser despulpado, a que se lastimen o quiebren.

Debe despulsarse el mismo día del corte, después de 4 horas de despulpado el grano debe echarse en otra pila de fermentación para evitar fermentaciones disperejas, limpiar diariamente el despulpador para no tener granos y pulpas rezagadas que podrían dañar la partida del día siguiente.

Es importante incorporar despulpadores que estén diseñados para operar en seco, lo que contribuirá a evitar la contaminación generada en el proceso de beneficiado.

Algunas de las ventajas de no utilizar agua en el despulpado son:

- Reducción del tiempo de fermentación
- No se contamina el agua
- Preservación de los nutrientes orgánicos de la pulpa

El beneficio no queda supeditado a la disponibilidad de grandes cantidades de agua.

2.1.4. Clasificación del café despulpado

Una de las características que distinguen al café procesado por la vía húmeda, son las diversas fases de clasificación y selección desde la recolección hasta el lavado. El grano despulpado deberá clasificarse por tamaño, por densidad o ambos, esto con el objetivo de separar cafés enfermos o deformes, pulpas y uniformizar el tamaño de dicho grano.

La presencia de un alto porcentaje de pulpa en las pilas de fermentación, puede dañar la apariencia física del grano provocando película rojiza y fermentaciones disperejas.

Para clasificar el café despulpado se utilizan los siguientes equipos mecánicos: las zarandas oscilantes y las cribas giratorias.

2.1.4.1. Las zarandas

Consisten en planchas metálicas perforadas en forma oval, reciben el café en uno de sus extremos y oscilan en el plano horizontal, desplazando el café de segunda y la cáscara al otro extremo, para que sea descargado a un despulpador de repaso.

El grano normal, bien despulpado, cae a través de las perforaciones (el tamaño de estas debe estar de acuerdo con el café a despulpar) y es conducido a pilas de fermentación de primera. Se recomienda una por despulpador y su tamaño va depender de la capacidad de dicho despulpador.

La mayor efectividad se logra cuando el café despulpado entra a la zaranda en forma laminar y no en chorro, deben operar entre 300 a 350 movimientos por minuto. Es necesario realizar la limpieza diaria de dichos equipos para evitar que se contamine la partida del día siguiente, por granos despulpados rezagados.

2.1.4.2. Criba rotativa

Generalmente era construida de metal y hierro de $\frac{1}{4}$ de pulgada y un diámetro entre 0,50 a 0,60 metros, es un equipo que combina la clasificación por densidad y por tamaño. Recientemente se introdujeron al mercado cribas construidas combinando materiales plásticos y metálicos; con el objetivo de bajar costos de producción y consumo de energía en los procesos operativos.

Actualmente se están construyendo totalmente de plástico, utilizando para ello polietileno de alta densidad, que tiene la particularidad de no ser dañado por los efectos corrosivos de la miel del café, deben operar entre 15 a 18 revoluciones por minuto. Realizar limpieza diaria de dichos equipos para evitar que se contamine la partida del día siguiente, por granos despulpados rezagados.

2.1.5. Remoción del mucílago del café despulpado

El punto ideal de fermentación dependerá de la temperatura ambiental, el calor acelera a fermentación, el frío la hace más lenta, el futo en estado óptimo de madurez (color rojo) fermenta más rápido.

2.1.5.1. Fermentación natural

El mucílago o miel representa entre el 15,5 y el 22 % en peso del fruto maduro, por tratarse de un material gelatinoso insoluble en el agua (hidrogel) es necesario solubilizarlo para convertirlo en un material de fácil remoción en el lavado (hidrosol). Para esto es necesario forzarlo a su degradación mediante la fermentación natural (bioquímica), en tanques o pilas de madera, concreto, ladrillo, plástico, fibra de vidrio, entre otros, en períodos de tiempo que van de 6 a 48 horas dependiendo de la temperatura ambiente, capacidad de drenaje de los tanques, altura de la masa de café, calidad del agua utilizada en el despulpado, estado de madurez del fruto, microorganismos presentes, entre otros.

Este sistema se le conoce como tradicional y es el que se ha empleado durante muchos años en diferentes países.

Para determinar el punto de lavado o de fermento es necesario muestrear constantemente y se puede hacer introduciendo un palo rollizo en diferentes partes de la masa de café en el tanque hasta tocar el fondo, si al sacarlo queda hecho el orificio, entonces se toman muestras de café de diferentes puntos del tanque, se lava luego se frota con las manos y si le da un sonido a cascajo o se siente áspero al tacto es señal que ya está listo para lavar.

Las pilas de fermentación deben lavarse todos los días para evitar granos rezagados que contaminarían la partida del día siguiente.

2.1.5.2. Desmucilaginado mecánico

Proporciona una manera para eliminar el mucílago del grano en forma continua, lo que significa que se reduce el tiempo que conlleva fermentar

naturalmente. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el proceso depende de la utilización de equipos desmucilaginosos que utilizan cantidades considerables de energía, así como un proceso de secamiento inmediato, para evitar posfermentaciones indeseables. Al mismo tiempo hay que considerar que para volúmenes grandes de café, el desmucilagar mecánicamente puede ser una opción de agilizar el proceso; sin embargo, para un gran porcentaje de productores medianos y pequeños no es económicamente viable.

El empleo de máquinas para eliminar mecánicamente el mucílago del café, puede considerarse una operación versátil, sin embargo, esta operación deja residuos de mucílago en la hendidura del grano afectando su apariencia física; sobre todo si no se tiene un secamiento inmediato.

En pruebas de catación de cafés desmucilaginosos contra cafés de fermentación natural, no se encontraron diferencias considerables, solo alguna característica visual del café en pergamino y oro. Hay que tomar muy en cuenta que la calidad depende de las exigencias del consumidor.

Lavar el equipo todos los días para evitar granos y residuos que podrían dañar la partida del día siguiente.

2.1.6. Lavado del café fermentado

Debe usarse agua limpia o nacimiento, se debe clasificar el café lavado, eliminando todos los granos y cáscara que floten en el canal de clasificación, para evitar que se dañe el aspecto físico del grano.

2.1.6.1. Lavado manual

Es la operación de quitar la miel que queda adherida al pergamino, por medio de la inmersión y paso de una corriente de agua en un canal de correteo o clasificación utilizando paletas de madera.

2.1.6.2. Lavado mecánico

Es el lavado del café mediante bombas de impulsor abierto, combinando una clasificación en canales rectos con una pendiente uniforme de 0,75 %, se trata de dar al canal un flujo laminar constante que permita la clasificación del café recién lavado. La economía de agua en esta operación complementa la eficacia del sistema de recirculación de agua que debe usarse en las operaciones de beneficiado húmedo. Las características hidráulicas del lavado de las plantas agroindustriales, están basadas en el uso mínimo de agua.

Toda el agua utilizada en los procesos de clasificación y lavado retorna al tanque recolector-decantador, el cual es construido en la parte más baja del beneficio.

Estos tanques disponen de un diseño que permite manejar dos niveles de agua, para requerir de la necesaria en el inicio, intermedio y final de la cosecha.

Se debe usar agua limpia, por ningún motivo se debe amontonar el café lavado, ya que se sobrefermenta. Además, es necesario limpiar diariamente el equipo e instalaciones para evitar granos rezagados y residuos de mucílago que pueden afectar la partida del día siguiente.

2.1.7. Secamiento del café lavado

El proceso de beneficiado húmedo termina cuando se logra bajar la humedad del café hasta punto comercial (10-12 % del grano oro). El grano del café se constituye como uno de los más difíciles de secar debido a varias razones:

- Posee un alto contenido de humedad al salir de la clasificación (canal correteo), aproximadamente 50-55 %. Otros granos al momento de cosecharlos poseen 20 % de humedad (maíz, arroz).
- El pergamino y el grano poseen diferentes características fisicoquímicas. El pergamino se endurece durante el secamiento, sobre todo si se efectúa en forma violenta con el uso de altas temperaturas. El grano contiene células que reducen su tamaño durante el proceso de secamiento. Entonces se forma una cámara de aire entre ambos que interfiere con la transferencia de calor hacia el interior del grano y con el paso hacia el exterior de la humedad, en forma de vapor de agua.

Existe volatilización de los componentes aromáticos si se emplean altas temperaturas durante el secado, afectando la calidad del café. El recalentamiento del grano afecta la apariencia física, así como las características de la taza.

Stevez y Foote expresan que la masa de café puede alcanzar y tolerar durante unas pocas horas (4 a 10) 50 grados centígrados de temperatura, sin deterioro sensible de taza; pero solamente un período menor de una hora a 60 grados centígrados de temperatura.

2.1.7.1. Secado natural

El secamiento al sol es la práctica más común, en lugares donde puede aprovecharse la energía solar y la energía propia del aire, además los costos de inversión en equipos y los costos de operación son razonablemente más bajos. Algunas recomendaciones generales para el proceso son:

- El grosor del café lavado en el patio es de 5 a 6 centímetros y debe moverse constantemente para obtener un punto parejo. Por cada metro cuadrado de patio caben 70 libras de café lavado (50-55 % de humedad).
- No se deben mezclar cafés de diferentes soles, el secamiento es disparejo.
- No debe extenderse el café cuando el patio esté muy caliente, se puede rajar el pergamino, de preferencia aprovechar las primeras horas de la mañana.
- Los patios deben limpiarse todos los días, para evitar que se contamine la partida nueva.
- Construir los patios de concreto con una pendiente longitudinal máxima del 2 %.
- Construir casillas para resguardar el grano en caso de lluvia y por la noche.

2.1.7.2. Secado mecánico

Se realiza a través de secadoras tipo Guardiola de diferentes capacidades, en zonas de condiciones climáticas limitantes. Es preferible combinar el escurrimiento del grano (en patio), con un sistema mecánico tipo Guardiola, que consiste en:

- Una fuente de calor (horno o calorífero).
- Un ventilador para forzar el aire caliente a través del grano.
- Una estructura en compartimientos donde se colocará la carga de café a secar.

El elemento básico en el secamiento es el aire caliente, que es mecánicamente impulsado y forzado a través de la masa de café, para que el aire adquiera la condición desecante es necesario aumentar su temperatura y así bajar la humedad relativa del mismo. El aire del ambiente juega un papel importante durante el proceso de secamiento; bajo condiciones lluviosas o por la noche, la humedad relativa alcanza valores de saturación (100 %), mientras que en ambiente cálido y soleado desciende a 60, 50 % o menos. Por esta razón es recomendable evitar secar mecánicamente por la noche, ya que las condiciones de humedad relativa y temperatura ambiente son severas.

El ventilador es uno de los elementos que más influye en el diseño y funcionamiento del secamiento mecánico, su función es hacer pasar a través de todo el sistema, un caudal de aire determinado, venciendo las resistencias de los componentes (ductos, masa de café, compuertas, entre otros).

El flujo de aire es el volumen de aire caliente y seco que impulsa el ventilador al área de café a secar, calentando el grano y arrastrando simultáneamente la humedad a través del proceso de evaporación. Es recomendable utilizar altos volúmenes de aire en vez de elevadas temperaturas de secamiento.

El porcentaje de humedad del grano oro, para la venta o almacenamiento debe estar entre 10 – 12 %, por lo que se requiere de un medidor de humedad o una persona con bastante experiencia; las secadoras deben limpiarse todos

los días para evitar granos rezagados que pueden dañar la partida del día siguiente y si se utiliza secadora estática debe secarse a 40 grados centígrados, y a una altura no mayor de 30 centímetros de masa de café con movimientos constantes.

2.2. Caracterización de los subproductos del beneficiado de café

Al realizar la caracterización de los subproductos del beneficiado de café pueden ser de clasificados como: líquidos y sólidos.

2.2.1. Generalidades y conceptos principales

Los residuos orgánicos, tanto sólidos como líquidos, son de muy difícil disposición final por su carácter de contaminantes del medio ambiente, sin embargo, el mejor tratamiento para cualquiera de estos elementos, es su conversión en productos que puedan volverse a incorporar a la naturaleza en forma reciclada. Los subproductos que se generan en el proceso del beneficiado son: la pulpa, el mucílago, las aguas de despulpado, agua de arrastre de la pulpa y las del proceso de lavado.

2.2.2. Agua miel

El agua miel utilizada para despulpar y lavar se convierte en residual. Su naturaleza química está relacionada con la composición fisicoquímica de la pulpa y el mucílago, debido a que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto turbulento e intenso con el agua limpia. Así se origina su aporte como carga orgánica, del primer y segundo lavado, con alrededor de DQO de 43,615 mg. Oz/litro, equivalente a 6 Kg de DQO/quintal oro.

Pero esta agua miel cuando es sometida al procesamiento en los sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales, se logra separar, por un lado el agua clarificada y por otro los lodos orgánicos; estos son un buen aporte de materia orgánica, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, entre otros.

En cuanto a este residuo líquido, las aguas del despulpado y de lavado, que son las que arrastran la principal proporción de mucílago suelto o fermentado. Es un hidrogel (sistema coloidal líquido liofílico) que posee una carga orgánica, según agua del primer lavado, expresado en DQO de 26,535 mg. Oz/litro, equivalente a 3,64 Kg. Oz/quintal oro producido.

2.2.2.1. Mucílago

El mucílago el cual está localizado entre la pulpa y la cáscara del grano de café, es una capa de aproximadamente 0,5 a 2 mm de espesor que está fuertemente adherida a la cáscara del grano de café. El mucílago representa entre el 20 y el 22 % del peso del fruto y conforma una importante proporción de la carga orgánica potencial, por su alto contenido de azúcares, pectinas y ácidos orgánicos.

Desde el punto de vista físico, el mucílago es un sistema coloidal líquido, liofílico, siendo por lo tanto un hidrogel. Durante la maduración del grano de café el pectato de calcio, localizado en la laminilla media y la protopectina de la pared celular, es convertido en pectinas.

Esta transformación o hidrólisis de las protopectinas resulta en la desintegración de la pared celular, dejando un plasma celular libre. En este plasma, además de pectinas, se encuentran azúcares y ácidos orgánicos

derivados del metabolismo y la conversión del almidón (Carbonell y Vilanova, 1952).

El pH del mucílago en café maduro es de 5,6 a 5,75, según García Prendes-Recinos, Guatemala; y de 6,0 a 6,2, según Menchú, Guatemala.

Tabla I. **Composición química del mucílago**

Materias pécticas totales	33 %
Azúcares reductores	30 %
Azúcares no reductores	20 %
Celulosa, cenizas, entre otros.	17 %
Total	100 %

Fuente: Anacafé. [http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Beneficiado Humedo_Mucilago](http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=Beneficiado_Humedo_Mucilago). Consulta: 26 de septiembre de 2013.

2.3. Pectinas

La pectina es una fibra natural que se encuentra en las paredes celulares de las plantas y alcanza una gran concentración en las pieles de las frutas.

2.3.1. Conceptos generales

Las pectinas son un grupo complejo de heteropolisacáridos estructurales que contienen sobre todo unidades de ácido galacturónico. Estos compuestos están presentes en las paredes celulares primarias y en la laminilla media de las células parenquimáticas de muchas plantas, donde están frecuentemente asociadas con otros componentes de la pared celular, tales como la celulosa,

hemicelulosa y la lignina, y son responsables de la firmeza de algunos productos. La disolución de los componentes de dicha pared celular, sobre todo de las pectinas se ha relacionado con el ablandamiento de diversas especies vegetales.

La cantidad y calidad de pectina útil que presentan los frutos dependen de la especie y del tipo de fruto, de la cantidad que el fruto contiene naturalmente, del estado de maduración en la cosecha, de las condiciones de manejo y de la actividad enzimática después de la recolección y desde luego, del proceso de extracción. Dependen también de la parte del fruto que se utilice y de la tecnología empleada en el proceso de obtención.

En frutos sin madurar la mayor cantidad de material péctico es insoluble en agua, la cantidad y la solubilidad aumentan con la madurez; esto genera cambios en la firmeza del fruto.

Los polímeros son comúnmente clasificados de acuerdo a dos criterios: su comportamiento térmico y su mecanismo de polimerización. Estas clasificaciones son importantes desde el punto de vista del reciclado de polímeros porque los métodos de degradación de un polímero dado dependen de estos criterios.

2.3.2. Clasificación de las sustancias pécticas

Se puede distinguir dos clases principales de sustancias pécticas: los ácidos pectínicos, que tienen una pequeña porción de sus ácidos galacturónicos como ésteres metílicos, y los ácidos pécticos, que solo contienen moléculas de ácido galacturónico libre de esterificación. Por definición las pectinas son ácidos pectínicos con diferentes grados de esterificación y neutralización, que pueden contener de doscientas a mil unidades de ácidos

galacturónicos. Existen otros compuestos de este tipo, las protopectinas, altamente esterificadas con metanol y muy insolubles en agua, que se encuentran en los tejidos de los frutos y son responsables de su textura rígida; sin embargo, la acción de la enzima protopectinasa hace que se conviertan en pectinas solubles o ácidos pectínicos, en un proceso que ocurre durante la maduración y que trae consigo el ablandamiento del fruto.

- De todas estas sustancias, las pectinas son las más abundantes e importantes, están presentes especialmente en algunos tejidos suaves, como en la corteza de los cítricos, en las manzanas, las peras, entre otros. Aún dentro del propio vegetal existe una distribución de las pectinas.

2.3.3. Estructura y composición

La columna vertebral de la pectina está compuesta por unidades enlazadas (α 1-4) del ácido galacturónico interrumpidos por enlaces simples (α 1-2) de residuos de ramnosa. Los grupos carboxilos de las unidades del ácido galacturónico están parcialmente esterificados por metanol, lo cual define el contenido de metóxilo en una pectina dependiendo de la fuente y el modo de extracción. El grado de esterificación (GE) está definido por la relación de residuos de ácido galacturónico metilesterificados con el total de unidades de ácido galacturónico presentes en la muestra de pectinas. El número y distribución de los grupos estermetílicos a lo largo de la molécula juegan un papel importante en la solubilidad, propiedades de espesamiento, capacidad de gelificación, que son condiciones requeridas para las propiedades finales del gel, y también sobre la firmeza y cohesión de los tejidos de las plantas.

Teóricamente, una pectina puede tener un contenido de metóxilo del 16 por ciento, pero en la práctica se han encontrado que contiene alrededor del 14 por ciento. Por esta razón se ha fijado el 7 por ciento de contenido de metóxilo (50 por ciento de esterificación con metanol) como la línea divisoria para diferenciar las categorías de pectina sobre la base del contenido de metóxilo.

Desde el punto de vista del contenido de metóxilo, se distinguen dos tipos de pectina:

Pectinas de Alto Metóxilo (PAM): son aquellas en las cuales más del 50 por ciento de los grupos carboxilo del ácido galacturónico del polímero se encuentran esterificados con metanol. Estas pectinas son capaces de formar geles en condiciones de pH entre 2,8 y 3,5 y un contenido de sólidos solubles (azúcar) entre 60 y 70 °Bx.

La adición del azúcar ejerce un efecto “deshidratante” sobre los polímeros, lo que ocasiona que se favorezcan las interacciones polisacárido-polisacárido de manera hidrófoba, y se cree una estructura tridimensional que rodea las moléculas de sacarosa altamente hidratadas.

Las pectinas de alto metóxilo pueden subdividirse en dos grupos: las de gelificación rápida, que tiene un tiempo de gelificación menor a cinco minutos y un grado de esterificación con metanol entre 68 y 75 por ciento, y las de gelificación lenta, que tienen un tiempo de gelificación mayor de cinco minutos y un grado de esterificación con metanol entre 60 y 68 por ciento.

Pectinas de Bajo Metóxilo (PBM): son aquellas en las cuales menos del 50 por ciento de los grupos hidroxilo están esterificadas con metanol. Para la formación del gel requieren la presencia de cationes divalentes, generalmente

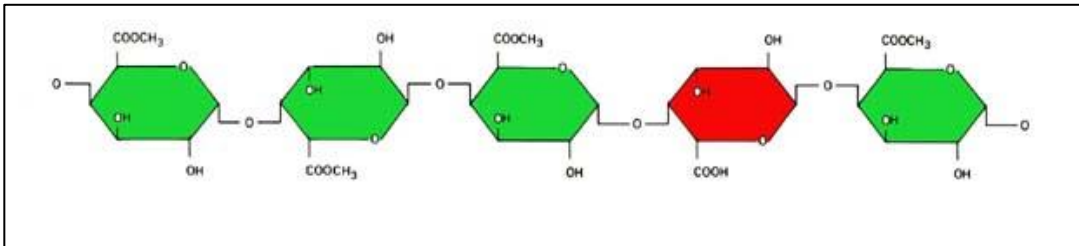
se emplea el calcio. En este caso la formación de gel ocurre por la formación de enlaces de dichos cationes con moléculas de pectina adyacentes formando una red tridimensional con los grupos carboxilo de la pectina.

En este caso los geles se pueden obtener entre pH 1,0 a pH 7,0 o aún superior; el pH no afecta la textura del gel ni el intervalo de sólidos solubles y puede fluctuar entre 0 y 80 por ciento pero la presencia de calcio (40 y 100 ppm) es el factor predominante en la formación del gel. Si no hay calcio no se produce gelificación, aunque también se puede emplear magnesio en este proceso. La cantidad de calcio necesaria depende de la cantidad de sólidos solubles así: para 30 por ciento de sólidos solubles se requieren de 40 a 100 ppm de calcio y para 45 por ciento de sólidos solubles de 20 a 40 ppm de calcio.

Las pectinas de bajo metóxilo pueden dividirse en tres grupos: las de gelificación rápida que poseen una alta reactividad con iones calcio y contienen un grado de esterificación aproximadamente del 30 por ciento; las de gelificación media, que poseen una reactividad intermedia con iones de calcio y contiene un grado de esterificación aproximada del 32 por ciento; y por último, las de gelificación lenta que poseen una reactividad media con iones calcio y contiene un grado de esterificación aproximada del 35 por ciento.

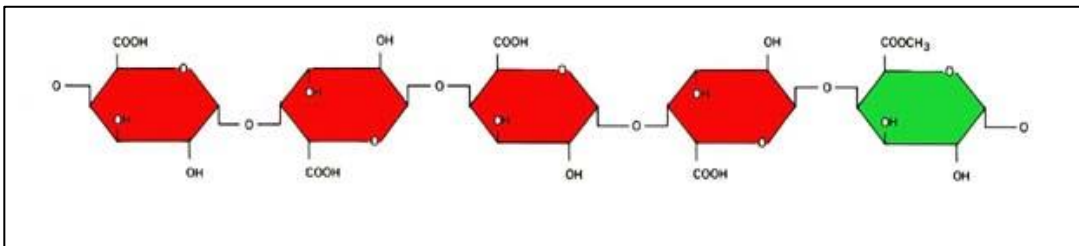
La estructura de las pectinas de acuerdo a su contenido de metóxilo es la siguiente:

Figura 1. **Pectinas de alto grado de metóxilo con un 80 % GE**



Fuente: *Azucares*. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html>.
Consulta: 26 de septiembre de 2013.

Figura 2. **Pectina de bajo grado de metóxilo con un 20 % GE**



Fuente: *Azucares*. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html>.
Consulta: 26 de septiembre de 2013.

Cada anillo de la cadena posee un grupo carboxilo (-COOH). Este grupo puede estar esterificado con metanol produciendo grupos éster metílicos, (-COOCH₃) o neutralizado por una base.

Las pectinas de alto metóxilo son principalmente utilizadas como agentes gelificantes en productos a base de frutos, especialmente en la elaboración de mermeladas y conservantes de frutos.

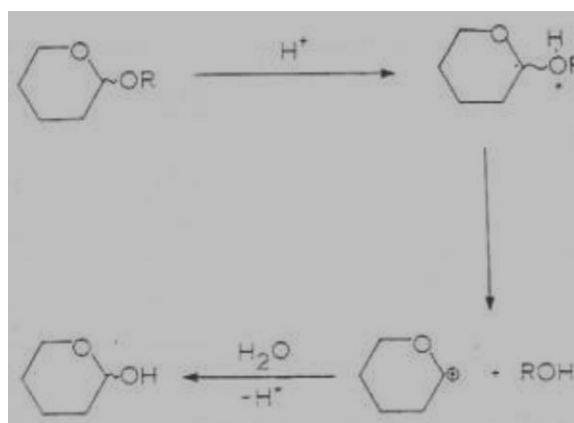
Las pectinas de bajo metóxilo son usadas para preparar geles con un nivel reducido de sólidos disueltos y son de gran interés debido a su valor calórico reducido.

2.3.4. Mecanismo de reacción para la extracción de pectinas

El método empleado es por hidrólisis de carbohidratos (ruptura de los enlaces glucosídicos que se ubican en la posición α (1-4) formando la estructura de la pectina y se encuentra uniendo un ácido galacturónico con otro ácido galacturónico ya sea esterificado o no) que consiste en una extracción de pectina en presencia de una solución ácida, debido a que los enlaces glicosídicos son destruidos más fácilmente en medio ácido que alcalino.

Durante este mecanismo de hidrolisis el eslabón determinante de la velocidad del proceso es la pérdida de R-OH.

Figura 3. Mecanismo de hidrólisis catalizada por ácido



Fuente: *Mecanismo de reacción.*

<http://docentes.educacion.navarra.es/metayosa/bach2/2biogluci3.html>. Consulta: 26 de septiembre de 2013.

2.3.5. Propiedades generales

Como otros biopolímeros, las propiedades funcionales de las pectinas dependen en gran medida de factores intrínsecos como un peso molecular y grado de esterificación (que a su vez dependen de la materia prima, estado de madurez del fruto y de las condiciones de fabricación, entre otros), y por factores extrínsecos, tales como el pH, las sales disueltas y la presencia de azúcares.

La viscosidad de sus dispersiones, al igual que la de otros polisacáridos, se incrementa a medida que aumenta el peso molecular; en el caso de las pectinas, la viscosidad es mayor cuanto más se incrementa el grado de esterificación.

A temperatura ambiente y a su propio pH, (2,8-3,2) las pectinas son tanto más solubles en agua cuanto mayor es su grado de esterificación. Las disoluciones que se obtienen presentan un carácter aniónico (carga negativa) que puede comportar incompatibilidades en la formulación de algunos productos alimenticios.

El peso molecular de la pectina, que depende directamente de la longitud de la cadena molecular, influye en la solidez del gel producido, es decir, en el poder gelificante de la pectina expresado por convención en grado SAG. Estos grados se definen como el número de gramos de sacarosa que en una solución acuosa de 65 °Bx y un valor de pH 3,2 aproximadamente, son gelificados por un gramo de pectina, obteniéndose un gel de una consistencia determinada.

2.3.6. Presencia y función biológica

Las sustancias pécticas son conocidas por contribuir a la adhesión entre las células y al mecanismo de fuerza de la pared celular, a través de su habilidad para formar geles estabilizantes, y tienen también un importante papel en el crecimiento de las células de las plantas. Adicionalmente a estas importantes funciones fisiológicas, estos polisacáridos estructurales tienen también otras funciones, entre ellas, el que estén involucrados en las interacciones entre plantas y agentes patógenos; la cantidad y la naturaleza de la pectina son determinantes para la estructura de los frutos y vegetales durante su crecimiento, madurez, almacenamiento y procesamiento; adicionalmente ellas tienen un importante papel como fibra nutricional, y pueden tener interesantes propiedades terapéuticas.

2.3.7. Usos y aplicaciones de las pectinas

La principal aplicación de las pectinas en la industria de alimentos es la fabricación de compotas y mermeladas; se utiliza también como agente gelificante en pudines, estabilizante de emulsiones y suspensiones, agente viscosante en bebidas, agente estabilizante en helados y postres fríos, y en soluciones para recubrir salchichas y carnes enlatadas.

En el campo farmacéutico las pectinas se emplean por su acción protectora y reguladora del sistema gastrointestinal, su acción desintoxicante, anticolesterol, inmunológica, antihemorrágica, anticancerígena y cicatrizante; prolonga la acción terapéutica al aumentar los tiempos de liberación de los principios activos.

Se usan también en la formación de películas para recubrir papel y dar características de suavidad en el papel de envoltura, como vehículo en la preparación de suspensiones de sulfato de bario para aplicar en las radiografías por rayos X, en la fabricación de películas biodegradables en forma de mezclas de pectina y alcohol polivinílico como reemplazantes de derivados del petróleo; estas películas son biodegradables, reciclables y permitidas para formas farmacéuticas de liberación prolongada y como protectores o adhesivos en preparaciones farmacéuticas para la piel.

2.3.8. Fuente de pectina convencionales y no convencionales

Los residuos de manzana y las cortezas de cítricos son las materias primas tradicionales usadas para la extracción industrial de pectinas. Ambos materiales contienen altas cantidades de sustancias pécticas y están disponibles en abundancia como residuos de la producción de jugo.

Sin embargo, estos frutos producen pectinas ligeramente diferentes, lo cual hace que la una o la otra sea más adecuada para aplicaciones específicas, aunque ambas tienen buen reconocimiento de deseabilidad y propiedades comerciales atractivas.

La manzana generalmente contiene entre 15 a 20 por ciento de pectina, mientras que la corteza de cítricos secos rinde de un 30 a 35 por ciento de pectina. Existe un interés general en el uso de desperdicios de productos obtenidos de bioindustrias, para minimizar los problemas ambientales y aprovechar las grandes cantidades de biomasa para elaborar productos con valor agregado.

Por lo tanto, la búsqueda de otras fuentes de pectina, ha atraído el interés en los últimos años, aunque con resultados que aún no proveen ningún uso comercial significativo.

2.3.9. Métodos de identificación

Consiste en pruebas cualitativas, el procedimiento seguido es el que se describe en la farmacopea de los Estados Unidos (USP) y que se presenta en el anexo.

Al realizar las pruebas correspondientes a la pectina obtenida se esperan los siguientes resultados:

Tabla II. **Pruebas de identificación de la pectina obtenida**

Prueba	Observación	Resultado
Solución de pectina más etanol	Precipitado gelatinoso y traslucido	Positivo
Solución de pectina más NaOH 2N	Gel transparente	Positivo
Gel de prueba dos más HCl 3N	Precipitado gelatinoso incoloro	Positivo

Fuente: elaboración propia.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación, fue necesario el análisis de las variables dependientes e independientes en cada una de las etapas que comprende la investigación. Estas etapas comprendieron la variación del pH y extracción de la pectina.

3.1.1. Variables de control

Son las variables que deben ser medidas y controladas en el proceso de extracción de pectinas por medio de hidrólisis ácida. Las partes del proceso en las cuales se realiza su definición operacional de las variables, incluyen el lavado de la materia prima, la hidrólisis ácida. Para cada una de dichas variables se hace una pequeña descripción de su función en el proceso.

Tabla III. **Definición operacional de las variables del lavado de la materia prima**

Nombre	Dimensional	Constante	Variable	Característica	Descripción
Tiempo de lavado	min	X		controlable	Tiempo para eliminar sustancias solubles en agua caliente.
Temperatura	°C	X		controlable	Temperatura a la cual debe de estar el agua para el lavado.

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Definición operacional de las variables de la hidrólisis ácida para la extracción de la pectina**

Nombre	Dimensional	Constante	Variable	Característica	Descripción
Tiempo de hidrólisis	min	X		controlable	Tiempo para que se lleve a cabo la hidrólisis.
pH	adimensional		X	controlable	Valores de acidez para la extracción.
Ácidos	adimensional		X	controlable	Variación de ácidos extractores.
Proporción materia prima/agua acidulada	%	x		controlable	Proporción de materia prima que se le agrega al agua acidulada para realizar la hidrólisis.
Temperatura de Hidrólisis	°C	X		controlable	Temperatura a la cual se llevará la hidrólisis.
Agitación	rpm	X		controlable	Agitación a la cual tiene que estar sometida la mezcla.

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación de campo de estudio

El campo de estudio de la investigación se debe delimitar definiendo: el lugar en el que se realiza, los procesos que conforman la investigación, el material de estudio y de la pectina obtenida, definiendo también su material de control.

3.2.1. Campo de estudio

Es la rama de la ingeniería a la cual se enfoca la investigación, se llevó a cabo un proceso de obtención de pectinas. Más específicamente enfocado a la extracción de pectinas provenientes del mucílago del café por medio de maceración dinámica y estática.

3.2.2. Procesos que conforman la investigación

La investigación se dividió en varias etapas, las cuales son: preparación de la materia prima (mucílago de café), extracción de pectinas por el método de hidrólisis ácida y la caracterización de la pectina por medios fisicoquímicos.

3.2.3. Material de estudio

En el proceso de extracción de pectinas por hidrólisis ácida, son materia de estudio el pH y el agente ácido extractor óptimo para obtener el mejor rendimiento de extracción.

3.2.4. Material que conforma la pectina

La extracción de la pectina provino del mucílago del café obtenido del proceso del beneficiado de café.

3.2.5. Material de control de la investigación

En la investigación se requiere controlar el pH y el agente ácido extractor y determinar si el rendimiento de la pectina obtenida se veía afectada por dichos parámetros y así determinar las condiciones óptimas del proceso.

3.3. Recursos humanos disponibles

Para la realización de la investigación se requería la disponibilidad del investigador Héctor Armando Mendoza Yalibat y del asesor de la investigación Adrián Soberanis. Sin embargo, a lo largo del proceso se requirió el apoyo de personal especializado en el tema, que colaboraron con la investigación.

3.3.1. Investigador

Nombre: Héctor Armando Mendoza Yalibat

Correo electrónico: mendo090688@gmail.com

Fecha de nacimiento: 09 de junio de 1988

Nacionalidad: guatemalteco

Profesión: estudiante de Ingeniería Química

Universidad de San Carlos de Guatemala

3.3.2. Asesor de investigación

Nombre: Ing. Adrián Antonio Soberanis Ibáñez

Correo electrónico: iqsoberanis@gmail.com

Colegiado Núm. 1515

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos materiales necesarios para la elaboración de la investigación se encontraban dentro de la Facultad de Ingeniería de Universidad de San Carlos de Guatemala en el laboratorio del área de Química. Estos se describen a continuación.

3.4.1. Recursos físicos disponibles

El estudio se realizó en la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala. La materia prima se recolectó en la Finca La Ilusión y El Obraje, ubicada en el municipio de Pueblo Nuevo Viñas del departamento de Santa Rosa, dicha finca se encuentra ubicada a 3,526 pies sobre el nivel del mar. La materia prima cual se almacenó en envases de vidrio autoclavables para su reuso, para evitar cualquier contaminación, y se almacenó a una temperatura menor de la ambiente para poder preservarla sin que ocurra una fermentación en la materia prima. La variedad de café de la cual se obtuvieron las aguas mieles fue Caturra. Para la parte de extracción se utilizó el Laboratorio de Química trabajando a cinco variaciones de pH y tres agentes extractores, por ultimo para caracterizar la pectina obtenida se utilizó métodos fisicoquímicos.

3.4.2. Recursos materiales disponibles

Uno de los objetivos de la investigación es obtener pectinas por medio de las aguas mieles del proceso del café para minimizar la contaminación por de las mismas. Se obtuvieron dichas aguas y se utilizaron métodos sencillos para que no se utilizaran equipos especializados.

3.4.2.1. Materia prima

La principal materia prima para la obtención de pectinas es el mucílago de café. Se aprovechó dicho material extraído por un desmucilagador para que la obtención fuera más rápida y eficiente. La materia prima estaba conformada por:

- Mucílago de café.

3.4.2.2. Materiales y equipo

Los equipos utilizados se encontraban disponibles en el laboratorio de química, al igual que el material de laboratorio. El resto del material tuvo que ser comprado.

- Envase de vidrio (capacidad 1 L)
- Hielera
- *Beaker* (Capacidad 500 mL, marca Pirex), (como equipo de extracción)
- Plancha de calentamiento con agitador marca Corning (rango temperatura: 25 a 550 °C, rango de agitación: 1,000 a 5,000 rpm)
- Barra magnética (medida 1 pulgada)
- Balón aforado (capacidad 150 mL)

- Pipeta volumétrica (capacidad 1 mL)
- Cronómetro manual (unidad de medición: 1/100 de segundo)
- Varilla de agitación (medidas: 20 cm largo, 0,5 cm de ancho)
- Termómetro (rango de medición: 0 a 100 °C)

3.4.2.3. Reactivos

- Ácido cítrico (Marca: J.T. Baker, presentación: kilo)
- Ácido tartárico (Marca: J.T. Baker, presentación: kilo)
- Ácido sulfúrico (Marca: J.T. Baker, presentación: 2.5 L)
- Hidróxido de sodio (Marca: J.T. Baker, presentación: kilo)
- Ácido clorhídrico (Marca: J.T. Baker, presentación: 2.5 L)

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

Según las variables que se trataron en la investigación, la técnica a utilizar es cuantitativa. El porcentaje de rendimiento que tenga la reacción y el pH óptimo de reacción, son variables cuantitativas ya que se puede determinar con respecto a la cantidad de materia prima inicial y la cantidad de producto final obtenido.

3.5.1. Técnica cuantitativa

Para el rendimiento de extracción de pectinas se tomó en cuenta parámetros medibles, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla V. **Técnica cuantitativa**

Técnica cuantitativa	Instrumento / Método	Cuantitativa	
		Continua	Discreta
Tiempo de hidrólisis	Cronómetro	X	
Temperatura hidrólisis	Termómetro	X	
Agitación	Agitador magnético	X	

Fuente: elaboración propia.

3.6. **Recolección y ordenamiento de la información**

Los datos obtenidos en la investigación se recopilaron en cada una de las partes del proceso.

- Para la parte de la preparación de la materia prima se extrajeron 10 litros de aguas mieles provenientes del desmucilagador, se utilizaron envases de vidrio autoclavables, para dicha toma se utilizaron guantes para prevenir que la muestra fuera contaminada, después de realizada la recolección, las muestras se guardaron en una hielera para evitar que las muestras alcanzaran una temperatura mayor a la ambiente y comenzara la fermentación dando paso a la descomposición de la muestra.

Al iniciar con la extracción los factores importantes a medir es el pH inicial de la muestra, su densidad, y su volumen, ya que con dichos datos se realizan las conversiones necesarias para determinar la cantidad de agua miel que se está utilizando. En esta parte del proceso se recolectaron los datos de pH inicial de la muestra, densidad y volumen.

- En el proceso de extracción de la pectina por método de hidrólisis ácida se llevó la muestra a un pH_i con el agente ácido extractor a utilizar, se calentó la muestra hasta una temperatura de 70 grados centígrados, y se agitó la muestra a una velocidad constante por un tiempo de 40 minutos, al terminar este tiempo se subió el pH a 4 con una solución de hidróxido de sodio 1 N, se agitó bien y se dejó enfriar hasta una temperatura aproximada de 35 grados centígrados.
- Luego de enfriado se realizó una filtración con una bomba de vacío para separar el sólido (con restos de mucílago) del extracto (líquido), la primer filtración se realizó con una manta gruesa para poder retirar la mayor cantidad de sólidos que existieran en la mezcla, luego se realizó una segunda filtración con una manta fina. Luego se recolectó el filtrado y se midió el volumen recuperado.

En esta parte del proceso se recolectó el dato de la cantidad de líquido recuperado de la hidrólisis ácida. Además, se obtuvieron 15 mediciones de volumen recuperado, cinco por cada agente extractor.

- Luego se realizó la precipitación de la pectina con alcohol acidificado, agregando alcohol etílico al 70 por ciento en proporción 1:1 con el volumen anteriormente recuperado, se agito por 10 minutos, se dejó reposar por 24 horas hasta que se observó un coágulo blanquecino o amarillento.
- Se realizó una centrifugación a velocidad de 3 500 revoluciones por minuto, para obtener el coágulo blanquecino o amarillento, luego se realizó un lavado con etanol al 60 por ciento para poder eliminar impurezas.

En esta parte del proceso se recolectó el dato de la cantidad de coágulo obtenido, esto para realizar el rendimiento que se obtuvo de la reacción de hidrólisis ácida.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para un ordenamiento de la información obtenida se hizo uso de tablas para cada uno de los procesos que conforman la investigación.

Para el ordenamiento de la información se utilizó Microsoft Excel, ingresando todos los valores de la masa de la muestra, densidad, pH inicial, para cada una de las 15 muestras obtenidas. La información se agrupó y clasificó por cada condición. Con todos los valores ingresados se determinaron los resultados.

3.7.1. Tamaño del muestreo

Para lograr una mayor confiabilidad en los resultados del experimento, se debe determinar el número de corridas adecuadas para disminuir los errores. Pero debido al estudio que se realizó conlleva la extracción de pectinas por cada corrida, no es técnicamente factible realizar tantas extracciones, por lo que se realizaron pruebas preliminares para determinar los parámetros que eran necesarios para obtener los resultados esperados, se realizaron dos extracciones para cada variación de pH y agente extractor, dando un total de treinta extracciones.

3.7.2. Tabulación y ordenamiento de los datos

En cada una de las etapas que conforman el proceso, se deben registrar y ordenar los datos para su posterior tratamiento. En las tablas se registran los datos importantes para que el procedimiento se estandarice.

Tabla VI. **Datos obtenidos en la preparación de la materia prima**

Temperatura muestra	11 °C
pH Inicial	4.7
Densidad Muestra	1,0155 g/ml

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Magnitudes constantes en la extracción de pectinas por hidrólisis ácida**

Proporción Agua miel/Ácido	1:1
Masa Muestra Inicial	50,777 g
Volumen Muestra Inicial	50 mL
Volumen ácido	50 mL
Temperatura hidrólisis	70 °C
Velocidad de agitación	200 rpm
Tiempo de hidrólisis	40 min
Proporción Alcohol Etílico/Líquido Filtrado	1:1
Velocidad Centrifugación	3 500 rpm
Tiempo Reposo Líquido Claro	24 h

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Obtención de pectina a diferente pH y agente extractor**

pH	Agente Extractor		
	Ácido Sulfúrico	Ácido Cítrico	Ácido Tartárico
1,5	g pectina	g pectina	g pectina
2,0	g pectina	g pectina	g pectina
2,5	g pectina	g pectina	g pectina
3,0	g pectina	g pectina	g pectina
3,5	g pectina	g pectina	g pectina

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Rendimiento de extracción**

pH	Agente Extractor		
	Ácido Sulfúrico	Ácido Cítrico	Ácido Tartárico
1,5	% Rendimiento	% Rendimiento	% Rendimiento
2,0	% Rendimiento	% Rendimiento	% Rendimiento
2,5	% Rendimiento	% Rendimiento	% Rendimiento
3,0	% Rendimiento	% Rendimiento	% Rendimiento
3,5	% Rendimiento	% Rendimiento	% Rendimiento

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

Los cálculos estadísticos que se realizaron una vez terminadas las extracciones, consistieron en el análisis de los rendimientos obtenidos. Los análisis a realizados fueron los siguientes:

- Análisis Anova
- Prueba de Tukey

3.8.1. Analisis de varianza (Anova)

Se utilizó Anova como análisis estadístico de los resultados, ya que se emplearon 2 corridas para cada agente extractor.

Anova (análisis de varianza) es una colección de modelos estadísticos en el cual la varianza esta particionada en ciertos componentes. Se utiliza para comparar varios en una misma variable cuantitativa, se puede utilizar con dos o más muestras.

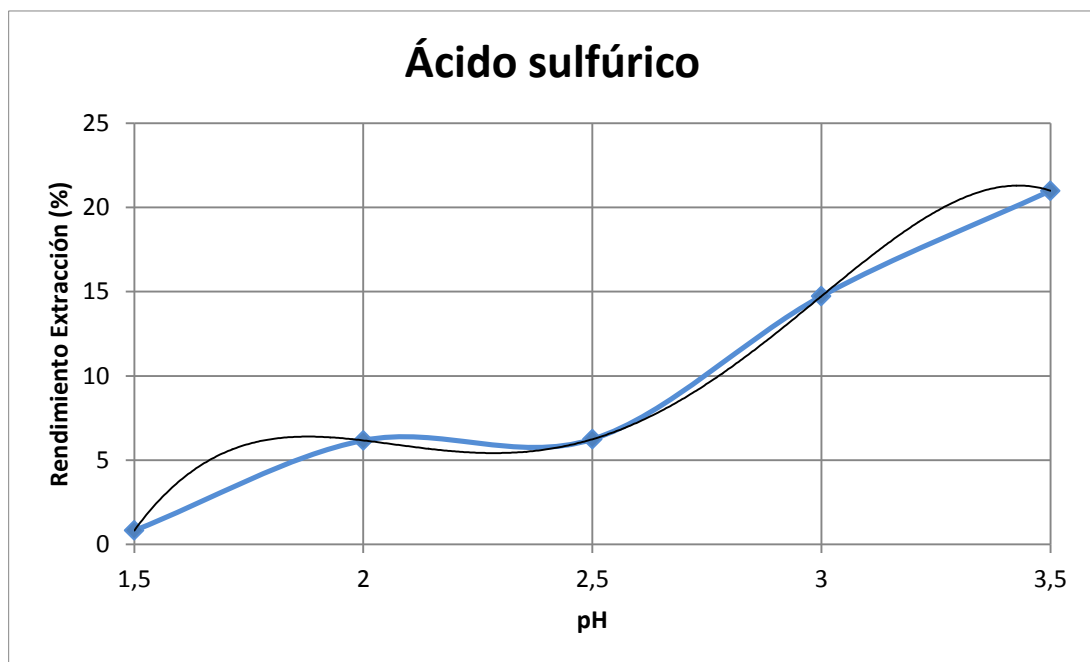
Anova utiliza un factor F, que es un estadístico que refleja el grado de parecido en las muestras existentes entre las medias que se están comparando.

3.8.2. Prueba de Tukey

La prueba de Tukey se basa en el cálculo de las diferencias entre las J medias. Si la diferencia de una de las $J(J-1)/2$ comparaciones posibles supera un valor denominado diferencia mínima significativa (DMS), entonces se considera que dichos promedios son significativamente diferentes.

4. RESULTADOS

Figura 4. Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido sulfúrico y el método de maceración dinámica



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla X. **Modelo matemático de la figura 4**

Curva	Modelo matemático	Coefficiente de Correlación	Intervalo de Validez (pH)
	$\%RE = -16,231 \text{ pH}^4 + 164,34 \text{ pH}^3 - 602,98 \text{ pH}^2 + 956,05 \text{ pH} - 549,02$	1	[1,5; 3,5]

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. **Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido tartárico y el método de maceración dinámica**



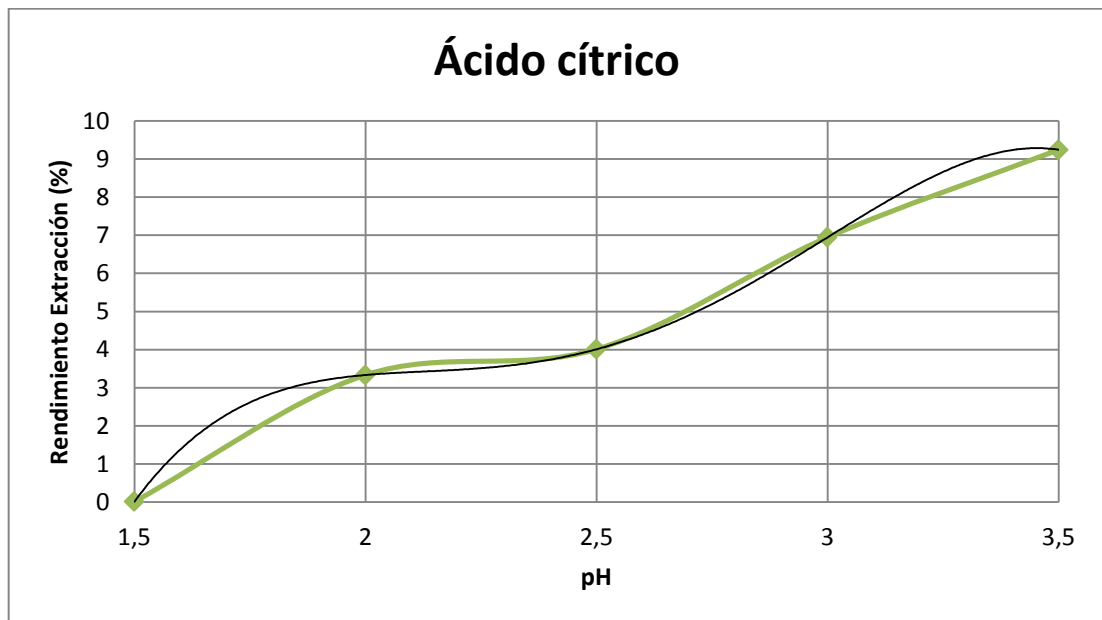
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XI. **Modelo matemático de la figura 5**

Curva	Modelo matemático	Coefficiente de Correlación	Intervalo de Validez (pH)
	$\%RE = -10,643 \text{ pH}^4 + 107,55 \text{ pH}^3 - 394,68 \text{ pH}^2 + 628,45 \text{ pH} - 363,75$	1	[1,5; 3,5]

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. **Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido cítrico y el método de maceración dinámica**



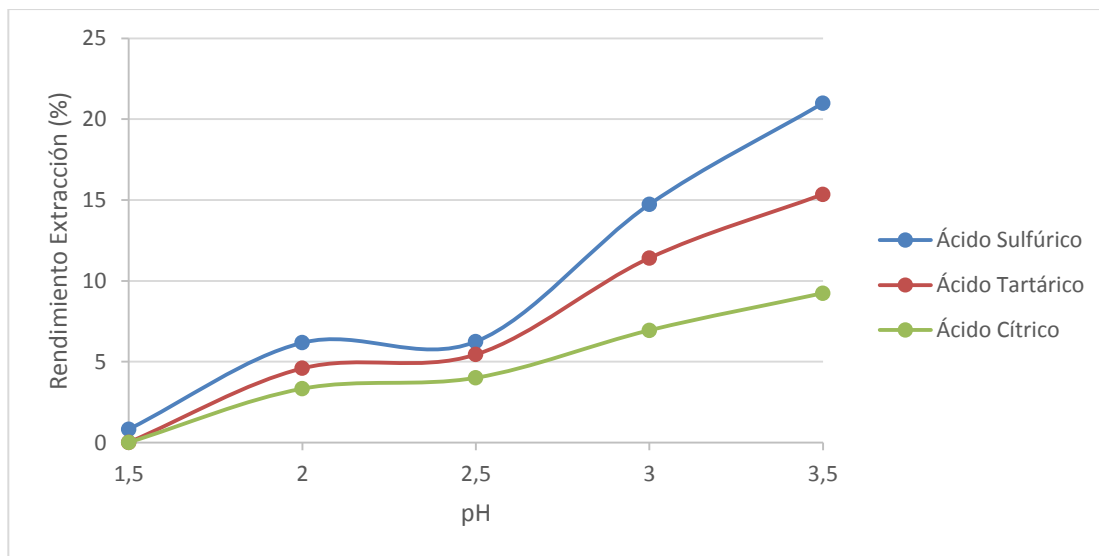
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XII. **Modelo matemático de la figura 6**

Curva	Modelo matemático	Coefficiente de Correlación	Intervalo de Validez (pH)
	$\%RE = -5,2047 \text{ pH}^4 + 53,382 \text{ pH}^3 - 199,37 \text{ pH}^2 + 324,49 \text{ pH} - 191,96$	1	[1,5; 3,5]

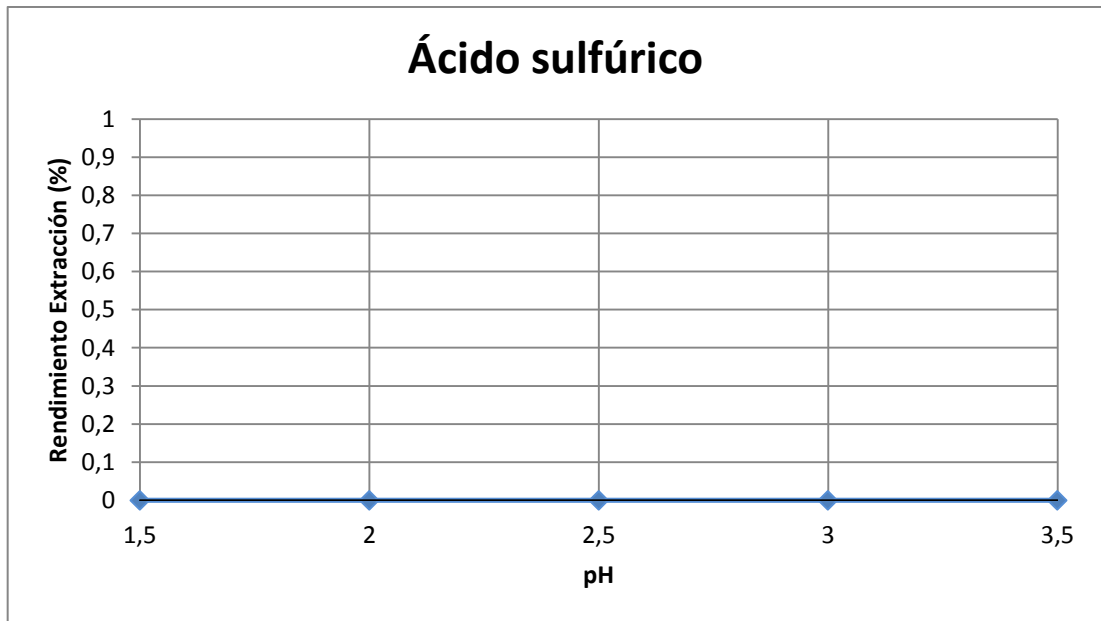
Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Comparación gráfica del rendimiento de extracción con respecto a la variación de pH en las soluciones para cada uno de los agentes extractores a utilizar por medio del método de maceración dinámica**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Figura 8. Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido sulfúrico y el método de maceración estática



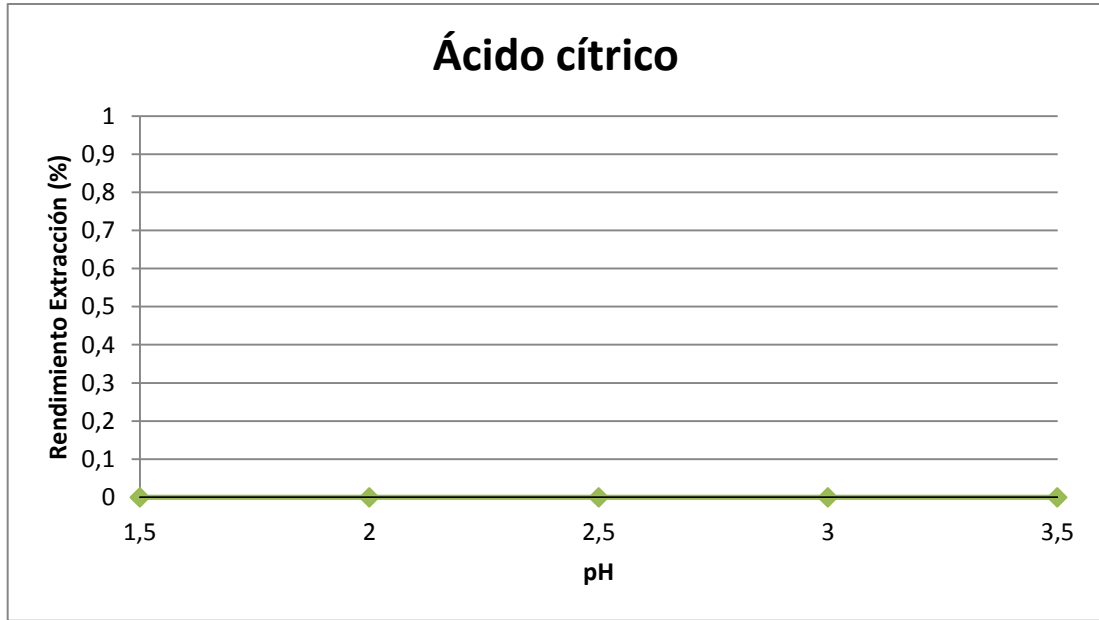
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Figura 9. Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido tartárico y el método de maceración estática



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Figura 10. **Rendimiento de extracción utilizando como agente extractor ácido cítrico y el método de maceración estática**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla XIII. **Rendimiento de extracción medio y desviación estándar para el método de maceración dinámica utilizando como agente extractor el ácido sulfúrico**

Ácido sulfúrico				
pH	Rendimiento 1 (%)	Rendimiento 2 (%)	Rendimiento promedio (%)	Desviación estándar (%)
3,5	20,067	21,906	20,987	1,301
3	13,761	15,703	14,732	1,373
2,5	6,007	6,683	6,244	0,478
2	5,729	6,620	6,174	0,630
1,5	0,856	0,798	0,827	0,041

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Rendimiento de extracción medio y desviación estándar para el método de maceración dinámica utilizando como agente extractor el ácido tartárico**

Ácido tartárico				
pH	Rendimiento 1 (%)	Rendimiento 2 (%)	Rendimiento promedio (%)	Desviación estándar (%)
3,5	13,910	16,796	15,353	2,040
3	11,379	11,447	11,413	0,048
2,5	4,851	6,042	5,447	0,842
2	4,670	4,513	4,591	0,111
1,5	0,026	0,008	0,017	0,013

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Rendimiento de extracción medio y desviación estándar para el método de maceración dinámica utilizando como agente extractor el ácido cítrico**

Ácido cítrico				
pH	Rendimiento 1 (%)	Rendimiento 2 (%)	Rendimiento promedio (%)	Desviación estándar (%)
3,5	9,438	9,042	9,240	0,280
3	6,464	7,426	6,945	0,680
2,5	3,818	4,201	4,009	0,271
2	3,042	3,626	3,334	0,413
1,5	0,008	0,022	0,015	0,010

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Porcentaje de disociación del ácido sulfúrico**

Ácido sulfúrico		
pH	Concentración (M)	Disociación α_1 (%)
1,50	3,162E-02	0,001
2,00	1,000E-02	0,002
2,50	3,162E-03	0,008
3,00	1,000E-03	0,024
3,50	3,162E-04	0,074

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Porcentaje de disociación del ácido tartárico**

Ácido tartárico		
pH	Concentración (M)	Disociación α_1 (%)
1,50	3,162E-02	2,866
2,00	1,000E-02	8,531
2,50	3,162E-03	22,711
3,00	1,000E-03	47,270
3,50	3,162E-04	69,524

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Porcentaje de disociación del ácido cítrico**

Ácido cítrico		
pH	Concentración (M)	Disociación α_1 (%)
1,50	3,162E-02	2,564
2,00	1,000E-02	7,680
2,50	3,162E-03	20,805
3,00	1,000E-03	45,041
3,50	3,162E-04	67,699

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Constante dieléctrica de los agentes extractores**

Compuesto	Constante dieléctrica (ϵ)
Ácido sulfúrico	100
Ácido tartárico	78,35
Ácido cítrico	78,35

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Observaciones cualitativas sobre la pectina obtenida**

Prueba	Observación	Resultado
Coloración gel obtenido	Amarillento	Positivo
Solución de pectina más etanol	Precipitado gelatinoso y traslucido	Positivo
Solución de pectina más NaOH 2N	Gel transparente	Positivo
Gel de prueba dos más HCl 3N	Precipitado gelatinoso incoloro	Positivo

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la determinación del pH y agente extractor óptimo para la extracción de pectinas provenientes de las aguas mieles del beneficiado del café a nivel laboratorio, utilizando como equipo de extracción el *beacker*, se analizaron los resultados obtenidos a pH: 1,5, 2, 2,5, 3, y 3,5 y utilizando los ácidos, sulfúrico, tartárico y cítrico para determinar cuál es la combinación óptima para dicha extracción.

Los aspectos que fueron analizados en el experimento para cada variación de pH fueron de carácter cuantitativo. Dichos aspectos cuantitativos fueron: tiempo de hidrólisis, temperatura de hidrólisis y la velocidad de agitación.

Para realizar las dos corridas en cada variación de pH se realizaron 15 extracciones, dando un total de 30 extracciones. Para cada extracción se requirió que las muestras se ajustaran a los pH deseados, y llevar la muestra acidificada a una temperatura de 70 °C durante 40 minutos. Luego de transcurrido el tiempo de extracción se llevó la muestra a un pH de 4 para estabilizar la pectina.

Luego se realizó una filtración para separar sólidos, dicha filtración se realizó con una manta gruesa, luego con una manta fina, se recolectó el filtrado y se midió el volumen en una probeta, luego se trasladó a un *beaker* y se agregó alcohol etílico al 70 por ciento con agitación constante por 10 minutos. Se dejó reposar la muestra por un lapso de 15 minutos y luego se centrifugó la muestra.

Se tapó y se dejó reposar dicha muestra durante un período de 24 horas hasta que se observó un coágulo amarillento a blanquecino que se distribuyó en la fase líquida. Luego del período de reposo las muestras se centrifugaron a una velocidad de 3 500 revoluciones por minuto, y se lavó el coágulo obtenido con etanol al 60 por ciento.

Por último se tomó una muestra del filtrado al que se le agregó alcohol etílico al 90 por ciento para verificar si existía pectina que pudiera precipitar. Al finalizar dicha extracción se pesó la cantidad de pectina extraída y se realizó la relación entre la cantidad de pectina extraída con respecto a la cantidad de agua miel utilizada.

En la figura 4 se observa el comportamiento de la variación del pH con respecto al rendimiento de extracción utilizando ácido sulfúrico como agente extractor en el proceso de maceración dinámica a nivel laboratorio. Se observó que en todo el intervalo de estudio el rendimiento de extracción en el rango de 1,5 a 2 se observa un incremento significativo de 5,347 % con respecto al rendimiento de extracción, en el intervalo de 2 a 2,5 no existe una variación significativa en el porcentaje de extracción, en el intervalo de 2,5 a 3,5 se obtiene un crecimiento en el porcentaje de extracción dándose el mayor valor a un pH de 3,5 y un rendimiento de 20,987 %.

En la figura 5 se obtiene la relación entre la variación del pH de extracción con respecto al rendimiento de extracción, utilizando como agente extractor el ácido tartárico en el proceso de maceración dinámica a nivel laboratorio, en el cual se observó, en el rango de pH de 1,5 a 2 un incremento de extracción de 4,574 % con respecto al rendimiento de extracción, en el rango de 2 a 2,5 no hay una variación significativa en el rendimiento de extracción, en el rango de

2,5 a 3,5 se obtuvo un incremento en el porcentaje de extracción en el cual el máximo se da a un pH de 3,5 y un valor de 15,353 %.

En la figura 6 se presentó el comportamiento de la variación de pH con respecto al rendimiento de extracción, en el cual se utilizó el ácido cítrico como agente extractor en el proceso de maceración dinámica a nivel laboratorio, en el rango de pH 1,5 a 2 se observó un incremento significativo, de 3,319 % en el rendimiento de extracción, en el rango de 2 a 2,5 se muestra que no existe un cambio significativo con respecto a la extracción, en el rango de 2,5 a 3,5 se observó un aumento en el rendimiento de extracción dando el mayor valor en un pH de 3,5 dicho valor es de 9,240 %.

En dichos análisis se observa que las figuras 4, 5 y 6 presentan tendencias similares, puesto que en el rango de 1,5 a 2 existe un incremento en el rendimiento de extracción, para el rango de 2 a 2,5 se observó que las variaciones en el rendimiento de extracción no presentan una variación significativa, al analizar dichas gráficas se observó que para el rango de 2,5 a 3,5 existe un incremento en el rendimiento de extracción, dando el mayor porcentaje de rendimiento de extracción a un pH de 3,5. Por tanto se determinó en dichas gráficas que el mejor pH para realizar la extracción de pectinas provenientes del mucilago contenido en las aguas mieles del café es el de 3,5, ya que este es un valor cercano al pH 4, el cual es el de mayor estabilidad en el que existe una buena polimerización y esterificación de la pectina. Por ello se tiene que cuidar que el pH de la solución acuosa no sea superior o inferior a 4, ya que puede existir una depolimerización y desesterificación.

En la figura 7, se realizó una comparación entre los rendimientos de extracción obtenidos con el proceso de maceración dinámica con respecto a la variación de pH utilizando los diferentes agentes extractores, al realizar esta

comparación se observó que el efecto que tiene el ácido sulfúrico es mayor que los otros 2 agentes utilizados, en el intervalo de 1,5 a 2,5 se observó que los agentes extractores obtienen rendimientos de extracción que no varían significativamente, en el caso del intervalo de 2,5 a 3,5 muestran una tendencia marcada, en el cual existe una diferencia significativa con respecto al rendimiento de extracción, en el cual el ácido sulfúrico muestra en el pH de 3,5 un rendimiento de extracción 1,367 veces mayor que el ácido tartárico y 2,271 veces mayor que el ácido cítrico, por lo tanto el efecto que presenta el ácido sulfúrico en la extracción de pectinas se debe a que este ácido en solución se disocia completamente, favoreciendo a la hidrólisis y a la polimerización de la pectina cruda, al contrario de los otros agentes extractores que son ácidos débiles, estos se disocian parcialmente retardando la hidrólisis y la polimerización de la pectina cruda.

En las figuras 8, 9 y 10, en las cuales se mostró la extracción por el método de maceración estática a nivel laboratorio utilizando los tres agentes extractores, se observó que en ninguna se obtiene extracción debido a que no se da un equilibrio entre los agentes extractores y la muestra por ello se obtienen los datos mostrados.

En las tablas, X, XI, XII, se describen los modelos matemáticos que generalizan el proceso de extracción con cada agente extractor utilizado, los modelos se ajustan a un orden 4, y son válidos para un intervalo de pH de 1,5 a 3,5, obteniendo un coeficiente de correlación de 1.

En las tablas XIII, XIV, XV, se obtienen los datos del rendimiento promedio de extracción y la desviación estándar obtenidos por el método de maceración dinámica, se evaluaron tanto la extracción por maceración dinámica y estática, y el proceso más eficiente es el dinámico, esto se debe que en el proceso de

hidrólisis ácida, se necesita un equilibrio de concentración entre el agua miel y el ácido, para poder tener el mayor porcentaje de extracción, al contrario de la maceración estática se necesita de mayor tiempo para que alcance el equilibrio por lo que al realizar dicha extracción no se obtuvo ningún resultado, a comparación de la maceración dinámica.

En las tablas XVI, XVII, XVIII, se muestran los porcentajes de disociación de cada agente extractor utilizado, con ello se determinó que el ácido sulfúrico tiene una mayor disociación sobre los otros dos agentes extractores, a ello se debe que se tenga un mayor rendimiento de extracción ya que se tiene una mayor cantidad de iones hidronio en la solución, con el ácido tartárico se observó que es mayor el grado de disociación con respecto al ácido cítrico, con ello se fundamenta el orden del potencial de extracción de los agentes ácidos utilizados de mayor a menor: ácido sulfúrico, ácido tartárico y ácido cítrico.

En la tabla XIX, se muestra la constante dieléctrica de cada uno de los agentes extractores utilizados, dichos valores hacen referencia a que se puede realizar una mejor atracción electrostática entre los iones que se ven afectados en la interacción, por lo cual a valores altos de dicha constante se dará una mejor estabilidad en el sistema, dando como resultado una mejor extracción como es el caso del ácido sulfúrico.

En la tabla XX, se muestran las observaciones cualitativas sobre la pectina obtenida, se realizó la comparación con la tabla II en la que se muestran las pruebas de identificación de la pectina, dando un resultado positivo al realizar las pruebas correspondientes, por lo tanto se determinó que a nivel laboratorio es factible utilizar como equipo de extracción el *beacker*, ya que no presenta ninguna variación en dicho producto obtenido.

Dicha pectina obtenida se puede aplicar en el campo de la industria alimenticia, ya que se puede utilizar desde la elaboración de dulces y mermeladas proporcionando una viscosidad deseada, hasta las bebidas lácteas ácidas confiriendo estabilidad a las proteínas presentes; en la industria farmacéutica se puede aplicar para elaborar recubrimientos de medicamentos y en la industria de las membranas selectivas se pueden realizar membranas para el tratamiento de aguas residuales determinando el tamaño del poro deseado, o en la fabricación de bolsas que sean biodegradables en la elaboración de almácigos para la caficultura.

Se realizó el análisis estadístico de Anova, en la tabla XXIV, apéndice 4 se muestra la varianza de los agentes extractores. En dicha tabla se muestran los grupos de los agentes extractores y se analizó las varianzas entre dichos grupos y se obtuvo el valor de F igual a 0,855, este valor se comparó con el valor crítico para F que es de 3,885.

Con estos valores se concluyó que no existe diferencia significativa en el rendimiento de extracción de la pectina contenida en el mucílago del café con diferentes agentes extractores y variación del pH para la maceración dinámica.

En la tabla XXV, apéndice 4 se muestra la prueba de Tukey, en el cual se analizaron las diferencias entre los grupos con un intervalo de confianza de 95 %, dando como resultado que no existe una diferencia significativa entre los grupos analizados.

CONCLUSIONES

1. Fue posible realizar la extracción de pectinas a partir del mucílago contenido en las aguas mieles del beneficiado de café por el método de maceración dinámica a nivel laboratorio.
2. Se determinó que el mejor agente extractor para la obtención de pectinas a partir de aguas residuales del beneficiado del café a nivel laboratorio es el ácido sulfúrico, por su carácter de ácido fuerte, que ayuda a la polimerización óptima de la pectina, en comparación a los otros dos agentes utilizados.
3. Se observó que el mejor pH para la extracción de pectinas a nivel laboratorio es el de 3,5 para los 3 agentes extractores utilizados, puesto que esta acidez se encuentra cercana al valor de 4, en el cual la pectina se estabiliza para que se realice el proceso de polimerización.
4. Se realizó la comparación gráfica del rendimiento de extracción con respecto a la variación de pH, en dicha gráfica se observó la tendencia que se tienen con cada uno de los agentes extractores y se tiene que el ácido sulfúrico es el mejor agente extractor con una diferencia significativa con respecto a los otros dos agentes utilizados, y se tiene que el pH óptimo es de 3,5.
5. Para cada una de las extracciones se obtuvo un modelo matemático, el cual generaliza el proceso de extracción de pectinas a nivel laboratorio, para dicho modelo se obtiene el del ácido sulfúrico ya que es el mejor

agente para realizar la extracción siendo este modelo $\%RE = -16,231 \text{ pH}^4 + 164,34 \text{ pH}^3 - 602,98 \text{ pH}^2 + 956,05 \text{ pH} - 549,02$, siendo este de orden 4 y un intervalo de validez de [1,5; 3,5].

6. Al realizar la extracción a nivel laboratorio por los dos métodos propuestos, se observó que el método más eficiente es el de maceración dinámica, ya que se obtiene más rápido el equilibrio entre el solvente y el agua miel, al contrario de la maceración estática que no se obtuvo extracción, por lo tanto es mejor realizar la extracción por maceración dinámica.
7. Al realizar el análisis estadístico se determinó que no existe una diferencia significativa en el rendimiento de extracción de la pectina a nivel laboratorio contenida en el mucílago del café con diferentes agentes extractores y variación del pH para la maceración dinámica.
8. Se determinó que la pectina obtenida cumple con las pruebas cualitativas de identificación propuestas, ya que se obtiene un resultado positivo en cada uno de ellos, dicha pectina se puede utilizar en la industria de alimentos, farmacéutica y en la elaboración de membranas selectivas.

RECOMENDACIONES

1. Mantener la muestra a una temperatura menor que la ambiente para preservarla y que no exista descomposición de las aguas mieles, ya que esta descomposición altera el rendimiento de extracción.
2. Evaluar el rendimiento de extracción a pH mayores de 3,5, y así determinar si existe una diferencia significativa en la extracción.
3. Realizar comparaciones entre las aguas mieles de diferentes regiones para determinar si existe una variación al realizar la extracción de pectinas.
4. Utilizar diferentes ácidos de carácter fuerte para determinar si puede existir una diferencia entre cada uno de ellos para la extracción.
5. A escala piloto se deben evaluar porcentajes de disociación o constantes dieléctricas mayores a las que se estudiaron.

BIBLIOGRAFÍA

1. CALLE, Humberto. “*Subproductos del café*”. Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café, (Cenicafé). 1977. Boletín No.6, p. 84.
2. _____. “*Subproductos del café*”. Guatemala: Asociación Nacional del Café, (Anacafé). 1977. Vol 5, No. 193, p. 15.
3. CALVO, Miguel. *Pectinas. Bioquímica de los alimentos*. [en línea]. <<http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/pectinas.html>>. [Consulta: agosto de 2013].
4. CHAIRES, Leandro; SALAZAR, Juan. *Caracterización Físicoquímica de pectinas de cascara de Tuna y su posible uso en la industria alimentaria*. [en línea]. <http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/veracruz01/TRABAJOS/AREA_XIII/CXIII-43.pdf>. [Consulta: junio de 2013].
5. CHASQUIBOL, Nancy; ARROYO, Edmundo, MORALES, Juan Carlos. *Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana*. [en línea]. <[http://fresno.ulima.edu.pe/sf%5Csf_bdfde.nsf/imagenes/105977FBB1325E100525756D004EA62A/\\$file/09-26-chasquibol.pdf](http://fresno.ulima.edu.pe/sf%5Csf_bdfde.nsf/imagenes/105977FBB1325E100525756D004EA62A/$file/09-26-chasquibol.pdf)>. [Consulta: junio de 2013].

6. DEAN, John A. *Lange's Handbook of chemistry*. 15th ed. USA: McGraw-Hill, 1999. 1291 p.
7. FERREIRA, Salomón; PERALTA, Adriana; RODRÍGUEZ, Paola. *Obtención y caracterización de pectina a partir de desechos industriales del mango (cáscara)*. [en línea]. <<http://www.ciencias.unal.edu.co/unciencias/data-file/farmacia/revista/V24P29-34.pdf>>. [Consulta: junio de 2013].
8. FISHMAN, Martin L. *Chemistry and function of pectins*. ACS Symposium Series, 2001. 22 p.
9. IGLESIAS, Manuel T.; LOZANO, Jimmy E. "Extraction and characterization of sunflower pectin". *Journal of Food Engineering*, 62, p. 215-223.
10. MENCHÚ, J.F. "Manual Práctico de beneficiados de Café". Asociación Nacional del Café (ANACAFE). Boletín No.13, Guatemala.
11. MOHNEN, D. *Biosynthesis of pectins and galactomannans*. En: *Comprehensive Natural Products Chemistry*. Barton, D.; Nakanishi, K. y Meth-Cohn. p. 497-527.
12. PABÓN, Paola; URIBE, Rodrigo; OLIVEROS, Carlos. *Manejo del café desmucilaginado mecánicamente*. [en línea]. <<http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0388.pdf>>. [Consulta: julio de 2013.].

13. *Pectinas y otros carbohidratos.* [en línea].
<http://www.uco.es/master_nutricion/nb/Vaclavik/pectinas.pdf>.
[Consulta: julio de 2013].

14. WALPOLE Ronald; MYERS Raymond; MYERS Sharon. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* 8a ed. México: Pearson Prentice Hall, 2007. 816 p.

APÉNDICES

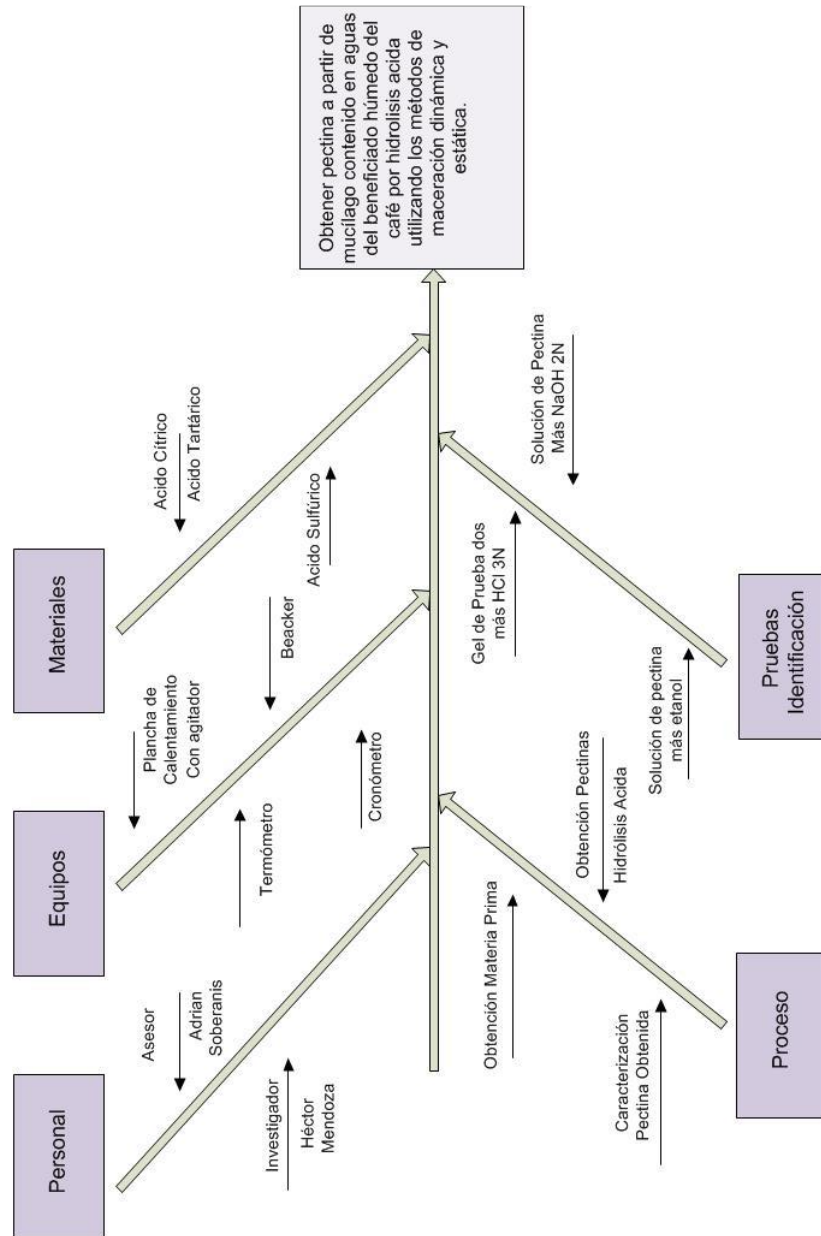
Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**

Química	<ul style="list-style-type: none">• Química 4• Química orgánica 2• Química ambiental	<ul style="list-style-type: none">• Estados de agregación de la materia• Soluciones• Polímeros• Mecanismos de reacción.• Aguas residuales
Operaciones unitarias	<ul style="list-style-type: none">• Transferencia de calor• Laboratorio de Ingeniería Química 1	<ul style="list-style-type: none">• Calentamiento• Diagramas de flujo
Ciencias básicas	<ul style="list-style-type: none">• Estadística	<ul style="list-style-type: none">• Análisis de varianza (Anova)

Especialización	<ul style="list-style-type: none">• Control de contaminantes industriales.• Calidad del agua.• Microbiología.	<ul style="list-style-type: none">• Definición DBO y DQO• Fermentación.• Contaminación de aguas naturales.
------------------------	---	--

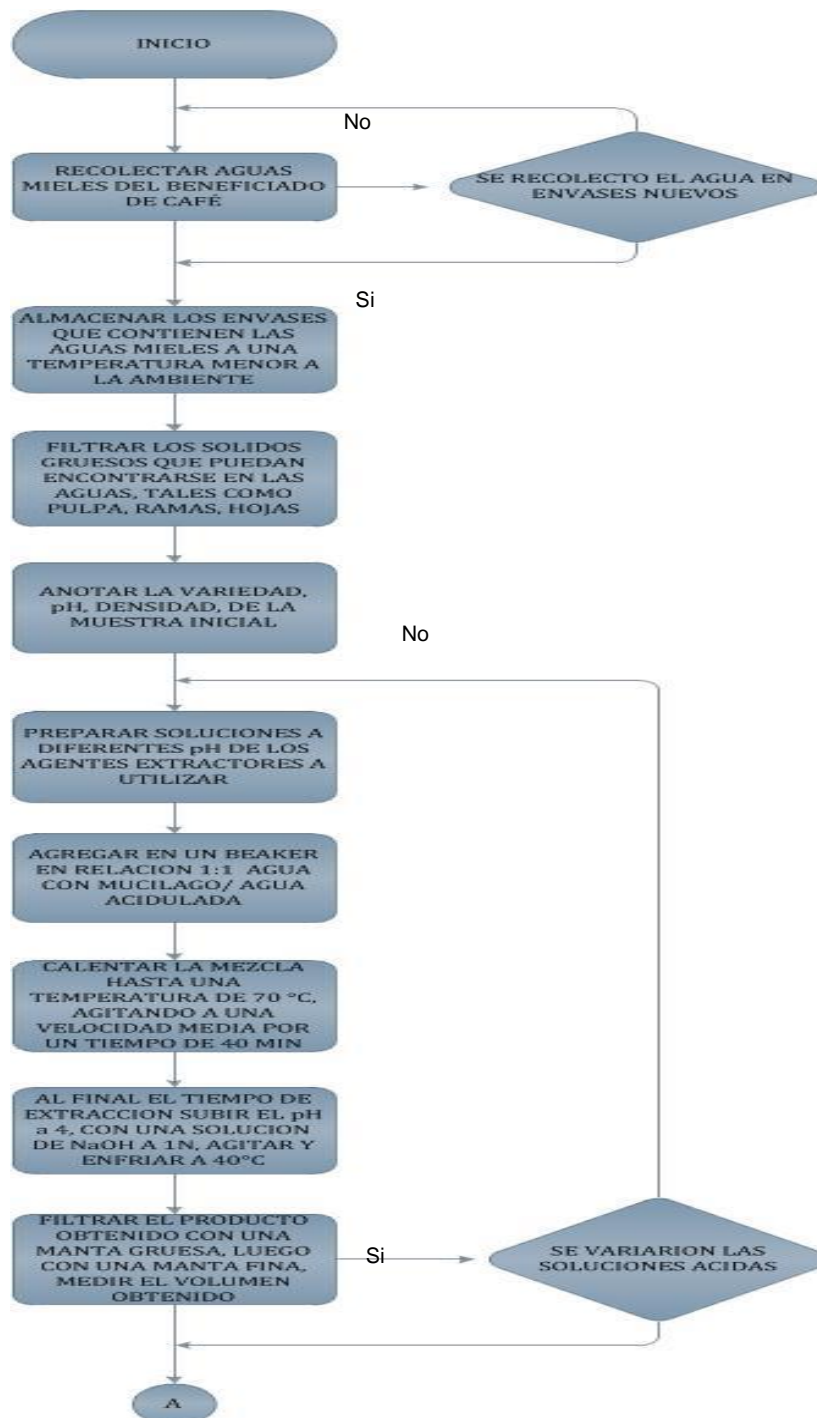
Fuente: elaboración propia.

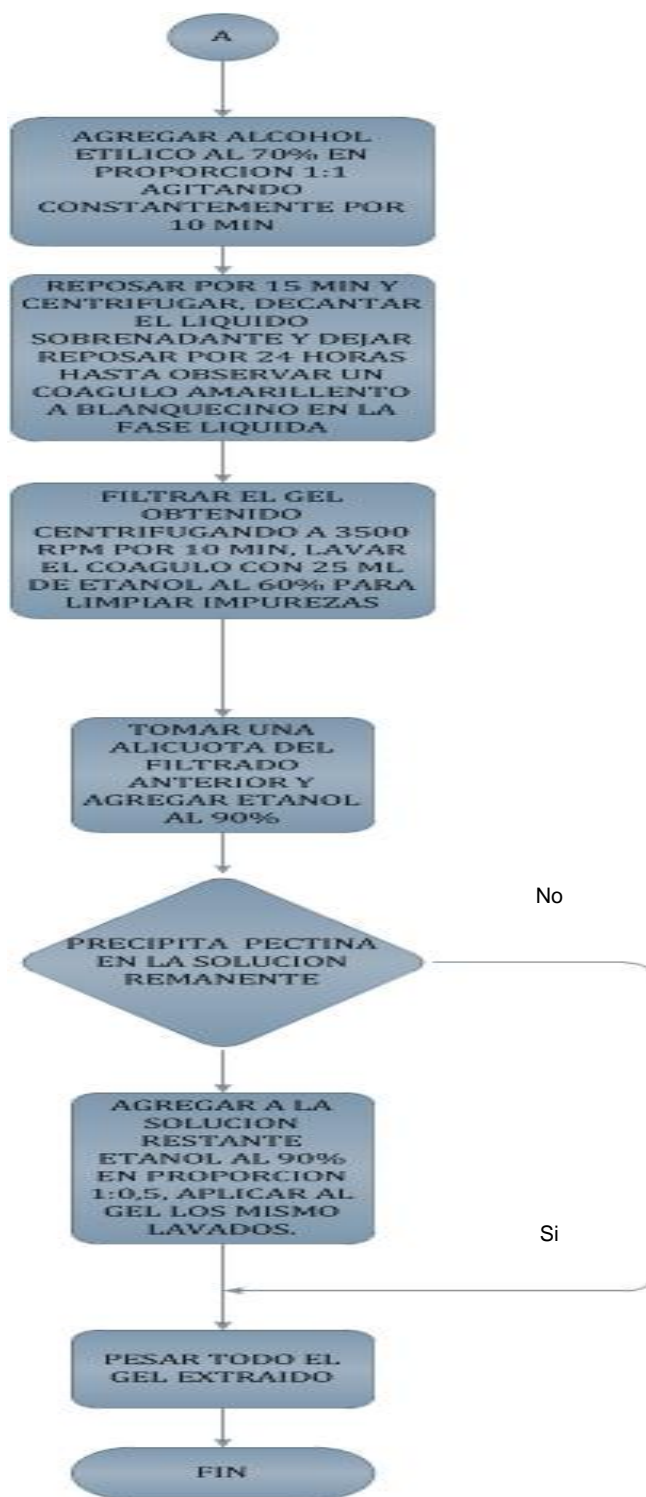
Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Diagrama de flujo del proceso de extracción de pectinas contenidas en las aguas mieles del beneficiado del café por maceración dinámica**





Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos calculados**

Tabla I. **Rendimiento de extracción utilizando el ácido sulfúrico como agente extractor**

Ácido sulfúrico	
Rendimiento (%)	pH
20,987	3,5
14,732	3
6,244	2,5
6,174	2
0,827	1,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Rendimiento de extracción utilizando el ácido tartárico como agente extractor**

Ácido tartárico	
Rendimiento (%)	pH
15,353	3,5
11,413	3
5,447	2,5
4,591	2
0,017	1,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Rendimiento de extracción utilizando el ácido cítrico como agente extractor

Ácido cítrico	
Rendimiento (%)	pH
9,24	3,5
6,945	3
4,009	2,5
3,334	2
0,015	1,5

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. Datos obtenidos del análisis estadístico Anova

Análisis de varianza de un factor						
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
Ácido Sulfu	5	48,964	9,793	63,945		
Acido Tarta	5	36,998	7,400	37,104		
Ácido Citri	5	23,543	4,709	12,486		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	64,697	2	32,348	0,855	0,450	3,885
Dentro de los grupos	454,139	12	37,845			
Total	518,836	14				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010.

Tabla V. **Prueba de Tukey**

Prueba Tukey (HSD) / Análisis de las diferencias entre las categorías con un intervalo de confianza de 95 %:					
Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Ácido Tartárico vs Ácido Cítrico	2,656	0,811	2,701	0,704	No
Ácido Tartárico vs Ácido Sulfúrico	0,370	0,107	2,701	0,994	No
Ácido Sulfúrico vs Ácido Cítrico	2,286	0,658	2,701	0,792	No
Valor crítico del d de Tukey:	3,82				

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2010, XLSTAT

Tabla VI. **Pruebas de identificación a la pectina obtenida con el ácido sulfúrico, tartárico y cítrico**

Prueba realizada	Observación	Resultado Obtenido
Pectina Cruda más etanol	Se forma un precipitado gelatinoso y traslucido	Positivo
Pectina Cruda más NaOH 2N	Se forma un gel transparente	Positivo
Gel de prueba anterior se agrega HCl 3N	Se precipita un gel incoloro y voluminoso	Positivo

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Imágenes**

Imagen 1. **Mucílago proveniente del desmucilagador mecánico**



Fuente: Finca La Ilusión y el Obraje, Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa, febrero 2015.

Imagen 2. **Recolección del mucílago en envases de vidrio autoclaviales**



Fuente: Finca La Ilusión y el Obraje, Pueblo Nuevo Viñas, Santa Rosa, febrero 2015.

Imagen 3. **Envase de vidrio autoclavables con muestra**



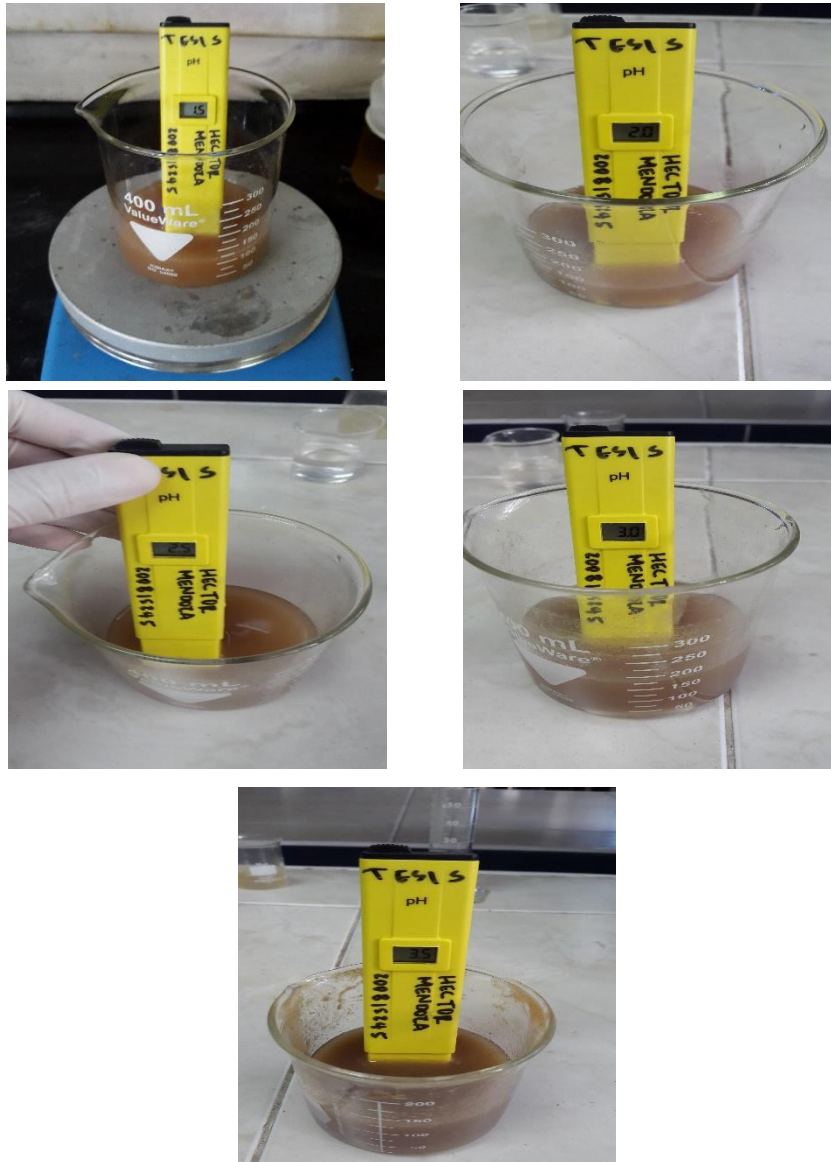
Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 4. **Separación de sólidos gruesos**



Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 5. Acidulación de las muestras a los pH deseados



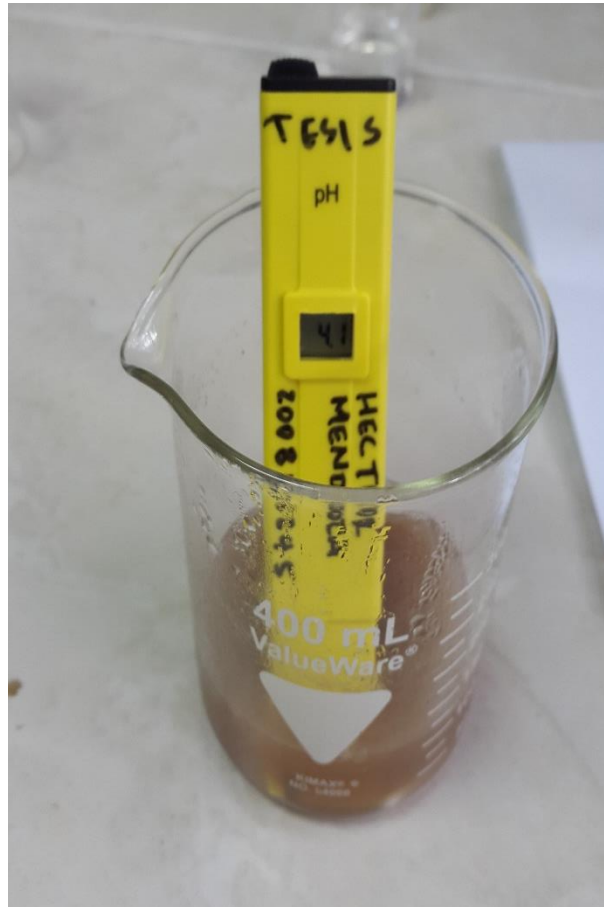
Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 6. **Hidrólisis ácida de las muestras por el método de maceración dinámica**



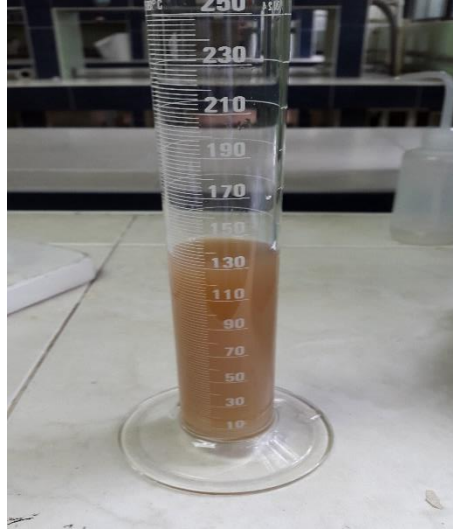
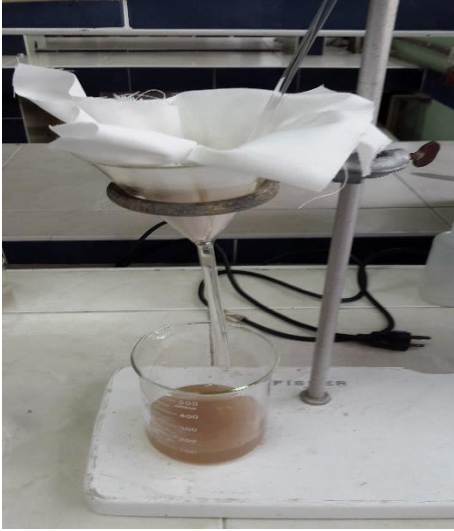
Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 7. **Estabilización de la muestra con hidróxido de sodio 1N hasta llegar a un pH 4**



Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 8. **Filtración con manta gruesa para retirar residuos sólidos y medición del volumen filtrado**



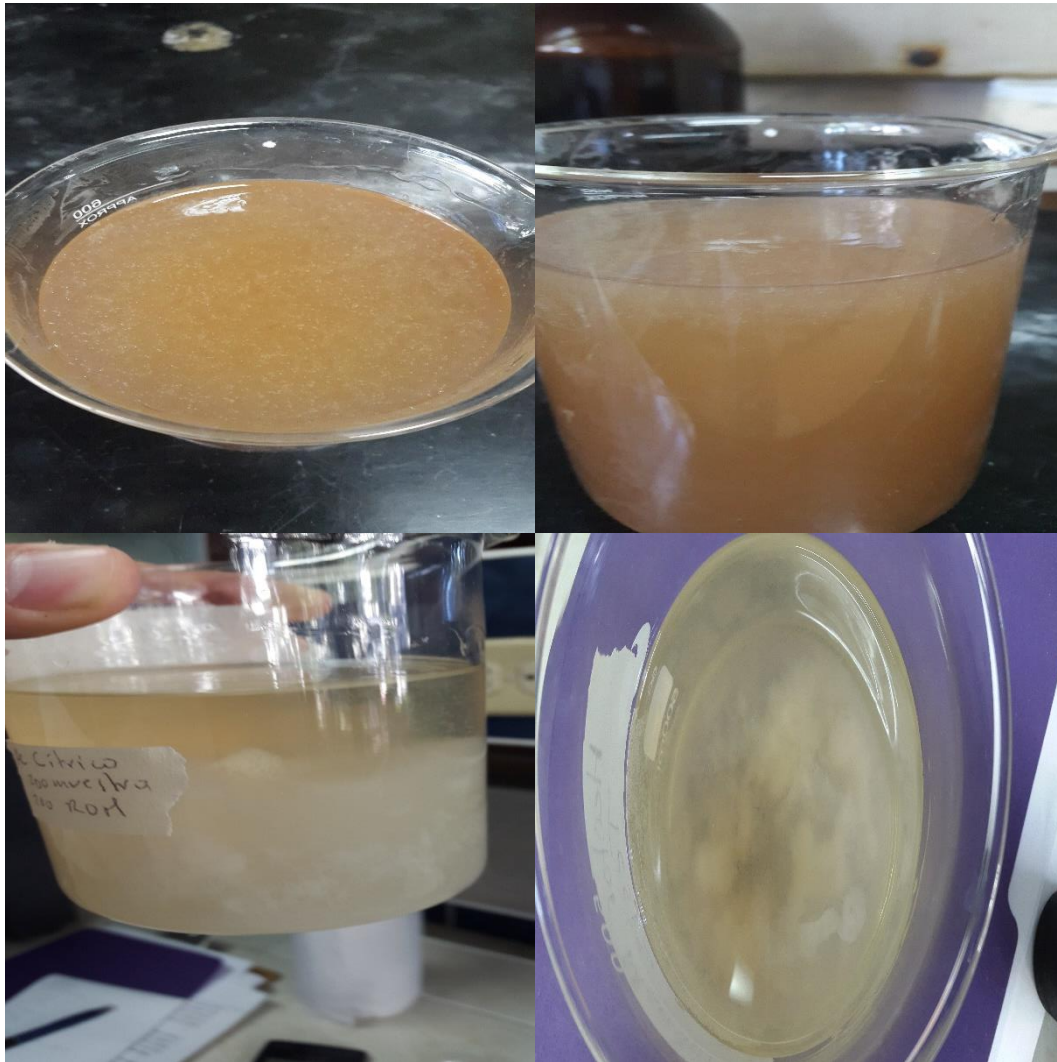
Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 9. **Mezcla de la solución ácida con alcohol etílico al 70 %
para la precipitación de la pectina**



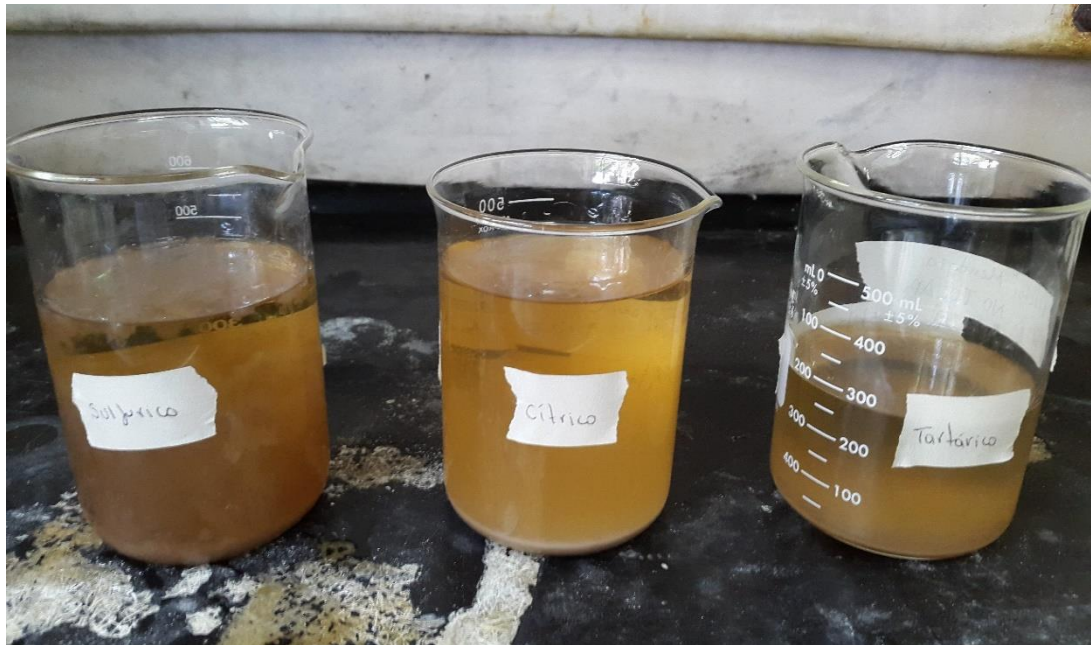
Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 10. **Formación del coágulo de pectina después de dejar reposar la solución por 24 horas**



Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 11. **Comparación sobre la extracción de la pectina con los diferentes agentes ácidos utilizados**



Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 12. **Centrifugación de la pectina obtenida**



Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Imagen 13. **Obtención de la pectina centrifugada**



Fuente: Laboratorio de Química, Facultad de Ingeniería; Universidad de San Carlos de Guatemala, febrero 2015.

Apéndice 6. Hojas de seguridad

Tabla VII. Hoja de seguridad del ácido cítrico

Propiedades Físicas y Químicas	
Estado físico	Sólido.
Apariencia y olor	Gránulos, cristales o polvos finos cristalinos incoloros a blancos., Sin olor.
Concentración	99,0 – 102,0 %
pH	2,1 (solución 0,1M a 20 °C) – 1,2 (solución al 20 % a 20 °C).
Temperatura ebullición	175 °C (se descompone).
Densidad (Agua=1)	1,540 (Ácido Cítrico Monohidratado) – 1,665 kg/L a 20 °C (Ácido Cítrico)
Solubilidad en agua	Muy buena solubilidad en Agua. Buena solubilidad en Alcohol Metílico, Alcohol Propílico y Alcohol Amílico - Moderada solubilidad en Acetato de Amilo, Acetato de Etilo y Dietil Eter - Insoluble en Cloroformo.
Primeros Auxilios	
<p>Inhalación: trasladar a la persona donde exista aire fresco. - En caso de paro respiratorio, emplear método de reanimación cardiopulmonar. - Si respira dificultosamente se debe suministrar Oxígeno. - Conseguir asistencia médica.</p> <p>Contacto con la piel: lavar con abundante Agua, hasta retirar completamente el producto de la piel. Sacarse la ropa contaminada y luego lavarla. De mantenerse alguna molestia, solicitar ayuda médica.</p> <p>Contacto con los ojos: lavarse con abundante Agua en un lavadero de ojos, por 5 minutos como mínimo, separando los párpados. De continuar la irritación, recurrir a un centro de atención médica.</p> <p>Ingestión: lavar la boca con bastante Agua. Dar a beber abundante agua. Enviar a un servicio médico, de haber alguna molestia.</p>	

Fuente: elaboración propia.

Continuación de la tabla VII.

Almacenamiento
Recomendaciones técnicas: almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.
Condiciones de almacenamiento: zona de almacenaje general de reactivos y soluciones químicas. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener productos químicos con seguridad. Lugar fresco a frío, seco y con buena ventilación. Proteger de la luz solar.
Forma de Desecho
Neutralizar con bicarbonato de sodio, verificar que el pH sea igual a 7, y descartar.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Hoja de seguridad del ácido sulfúrico**

Propiedades Físicas y Químicas	
Estado físico	Líquido.
Apariencia y olor	Incoloro a color amarillento oscuro, denso y oleoso. Picante y penetrante - Umbral del olor: 1,0 mg/m ³ .
Concentración	95,0 – 98,0 %
Temperatura de ebullición	327 °C (solución al 98 %).
Temperatura de fusión	-2 °C (solución al 98 %).
Densidad (Agua=1)	1,836 kg/L a 20 °C (solución al 98 %).
Presión de vapor a 20 °C	<0,3 mmHg a 25 °C
Densidad de vapor	3,4
Solubilidad en agua	Completamente soluble en agua. Soluble en Alcohol Etílico
Primeros Auxilios	
<p>Inhalación: trasladar a la persona donde exista aire fresco. En caso de paro respiratorio, emplear método de reanimación cardiopulmonar. Si respira dificultosamente se debe suministrar oxígeno. Conseguir asistencia médica de inmediato.</p> <p>Contacto con la piel: lavar con abundante agua, a lo menos de 10 a 15 minutos. Utilizar de preferencia una ducha de emergencia. Sacarse la ropa contaminada y luego lavarla. De mantenerse la lesión, recurrir a una asistencia médica.</p> <p>Contacto con los ojos: lavarse con abundante y rápida agua en un lavadero de ojos, como mínimo entre 10 y 15 minutos, separando los párpados. De persistir daño, derivar a un centro de atención médica.</p>	

Continuación de la tabla VIII.

Almacenamiento
Recomendaciones técnicas: almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Envases de vidrio o polietileno. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados. Condiciones de almacenamiento: zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo por contacto. Almacenamiento en bodegas, cabinas o estanques, diseñados con resistencia para contener sustancias corrosivas. Lugar frío, seco y con buena ventilación. Contar con medios de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.
Forma de Desecho
Neutralizar con bicarbonato de sodio, verificar que el pH sea igual a 7, y descartar.

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Hoja de seguridad del ácido tartárico

Propiedades Físicas y Químicas	
Estado físico	Sólido.
Apariencia y olor	Gránulos o Polvos cristalinos blancos. Sin olor.
Concentración	99,5 %
pH concentración y temperatura	Acido
Temperatura de fusión	168 – 170 °C
Densidad (Agua=1)	1,760 kg/L a 20 °C
Densidad de vapor	38,6 (polvos).
Solubilidad en agua	Soluble en agua (139 g por 100 ml de agua a 20 °C)
Primeros Auxilios	
<p>Inhalación: trasladar a la persona donde exista aire fresco. En caso de paro respiratorio, emplear método de reanimación cardiopulmonar. Si respira dificultosamente se debe suministrar oxígeno. Conseguir asistencia médica de inmediato.</p> <p>Contacto con la piel: lavar con abundante agua, a lo menos por 5 minutos. Como medida general, usar una ducha de emergencia de ser necesario. Sacarse la ropa contaminada y luego lavarla. De mantenerse la irritación, recurrir a una asistencia médica.</p> <p>Contacto con los ojos: lavarse con abundante Agua en un lavadero de ojos, entre 5 y 10 minutos como mínimo, separando los párpados. De persistir la irritación, derivar a un centro de atención médica.</p> <p>Ingestión: lavar la boca con agua. Dar a beber abundante agua o leche. Enviar a un servicio médico.</p>	

Continuación de la tabla IX.

Almacenamiento
Recomendaciones técnicas: almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.
Condiciones de almacenamiento: zona de almacenaje general de reactivos y soluciones químicas. Almacenamiento en bodegas y/o cabinas, diseñadas para contener productos químicos con seguridad. Lugar fresco a frío, seco y con buena ventilación. Proteger de la luz. Señalización del riesgo
Forma de Desecho
Neutralizar con bicarbonato de sodio, verificar que el pH sea igual a 7, y descartar.

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Hoja de seguridad del alcohol etílico**

Propiedades Físicas y Químicas	
Estado físico	Líquido.
Apariencia y olor	Incoloro, Olor característico fragante - Umbral del olor: 100 a 180 ppm.
Concentración	99,5 %
Temperatura de ebullición	78,3 °C
Temperatura de fusión	-114,0 °C
Presión de vapor a 20 °C	44,3 mmHg a 20 °C
Densidad (Agua=1)	0,790 - 0,793 g/cm ³
Solubilidad en agua	Soluble en todas proporciones en agua a 20 °C. Soluble en Cetonas, Esteres, Eteres, Glicoles y otros Alcoholes.
Primeros Auxilios	
<p>Inhalación: trasladar a la persona donde exista aire fresco. - En caso de paro respiratorio, emplear método de reanimación cardiopulmonar. - Si respira dificultosamente se debe suministrar oxígeno. - Conseguir asistencia médica.</p> <p>Contacto con la piel: lavar con abundante agua, hasta retirar completamente el producto de la piel. Sacarse la ropa contaminada y luego lavarla. De mantenerse alguna molestia, solicitar ayuda médica.</p> <p>Contacto con los ojos: lavarse con abundante agua en un lavadero de ojos, por 5 minutos como mínimo, separando los párpados. De continuar la irritación, recurrir a un centro de atención médica.</p> <p>Ingestión: lavar la boca con bastante agua. Dar a beber abundante agua. Enviar a un servicio médico, de haber alguna molestia.</p>	

Continuación de la tabla X.

Almacenamiento
<p>Recomendaciones técnicas: almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.</p> <p>Condiciones de almacenamiento: zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de inflamación. Almacenamiento en bodegas o cabinas, diseñadas para contener inflamables. Lugar frío, seco y con buena ventilación. Disponer de algún medio de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Hoja de seguridad del hidróxido de sodio

Propiedades Físicas y Químicas	
Estado físico	Sólido.
Apariencia y olor	Lentejas blancas - Son higroscópicas. Sin olor.
Concentración	98,0 %
pH	14
Temperatura de ebullición	1 390 °C
Temperatura de fusión	318 °C
Presión de vapor a 20 °C	1,0 mmHg a 20 °C
Densidad (Agua=1)	2,13 kg/L a 20 °C
Solubilidad en agua	Muy soluble en agua (111 g por 10 ml de agua a 20 °C). Soluble en Alcoholes Etilico y Metílico y Glicerol.
Primeros Auxilios	
<p>Inhalación: trasladar a la persona donde exista aire fresco. En caso de paro respiratorio, emplear método de reanimación cardiopulmonar. Si respira dificultosamente se debe suministrar oxígeno. Conseguir asistencia médica de inmediato.</p> <p>Contacto con la piel: lavar con abundante y rápida agua, por lo menos de 10 a 15 minutos. Utilizar una ducha de emergencia. Sacarse la ropa contaminada y luego lavarla o desecharla. Si persiste el daño, continuar lavando y solicitar ayuda médica.</p> <p>Contacto con los ojos: lavarse con abundante y rápida agua en un lavadero de ojos, entre 15 y 20 minutos como mínimo, separando los párpados. De mantenerse el daño, derivar a un servicio médico inmediatamente.</p> <p>Ingestión: lavar la boca con bastante agua. Dar a beber 250 a 300 ml de agua para diluir.</p>	
Almacenamiento	
<p>Recomendaciones técnicas: almacenar separadamente de condiciones y productos incompatibles. Proteger contra el daño físico. Mantener los envases cerrados y debidamente etiquetados.</p> <p>Condiciones de almacenamiento: zona de almacenaje de reactivos y soluciones químicas con riesgo de inflamación. Almacenamiento en bodegas o cabinas, diseñadas para contener inflamables. Lugar frío, seco y con buena ventilación. Disponer de algún medio de contención de derrames. Acceso controlado y señalización del riesgo.</p>	

Continuación de la tabla XI.

Forma de Desecho
Agregar ácido clorhídrico diluido, ajusta el pH a neutro, la solución restante puede diluirse con agua.

Fuente: elaboración propia.

