

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE
CÁSCARAS DE PIÑA (*ANANAS COMOSUS*) POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS
ÁCIDA

EDWARD CEDULIO AVILA GARAVITO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN DE PROCESOS DE ALIMENTOS Y
BIOMATERIALES
ACACIAS
2019

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE PECTINA A PARTIR DE RESIDUOS DE
CÁSCARAS DE PIÑA (*ANANAS COMOSUS*) POR EL MÉTODO DE HIDRÓLISIS
ÁCIDA

EDWARD CEDULIO AVILA GARAVITO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de especialista en
procesos de alimentos y biomateriales

Asesora

July Constanza Perdomo Cerquera

Ingeniera Agroindustrial e Ingeniera de Alimentos. Magíster en Gerencia de Programas
Sanitarios en Inocuidad de Alimentos

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN DE PROCESOS DE ALIMENTOS Y
BIOMATERIALES
ACACIAS
2019

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Acacias, noviembre de 2019

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Los autores de la presente propuesta manifestamos que conocemos el contenido del Acuerdo 06 de 2008, Estatuto de Propiedad Intelectual de la UNAD, Artículo 39 referente a la cesión voluntaria y libre de los derechos de propiedad intelectual de los productos generados a partir de la presente propuesta. Asimismo, conocemos el contenido del Artículo 40 del mismo Acuerdo, relacionado con la autorización de uso del trabajo para fines de consulta y mención en los catálogos bibliográficos de la UNAD.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios en primera instancia por permitirme culminar un logro más en mi vida profesional, a mis padres que desde la distancia han sido un apoyo incondicional en cada una de mis metas alcanzadas, a mis hermanos de igual forma por su apoyo moral en cada una de las etapas de este ejercicio académico quienes con sus consejos me impulsaron a no decaer pese este proceso.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias a la orientación de los tutores de la UNAD, en especial a la Ingeniera July Constanza Perdomo por su asesoría y el tiempo dedicado con el mismo.

Agradezco a todos los comerciantes de piña del sector las Mercedes por su disposición, apoyo e información brindada para el desarrollo del proyecto.

Agradecimiento especial a mi novia Ana Felisia por todo su apoyo, compañía y sus consejos incondicionales que permitieron terminar con éxito este proyecto.

Por último, agradecer a las directivas de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia por la oportunidad y apoyo en la formación posgradual recibida.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CAPITULO I..... | 14 |
| RESUMEN..... | 14 |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 16 |
| 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 17 |
| 3 JUSTIFICACIÓN..... | 18 |
| 4 OBJETIVOS..... | 19 |
| 4.1 Objetivo General..... | 19 |
| 4.2 Objetivos Específicos..... | 19 |
| 5 MARCO REFERENCIAL..... | 20 |
| 6 MARCO TEÓRICO..... | 21 |
| 6.1 PIÑA (<i>Ananas Comosus</i>)..... | 21 |
| 6.1.2 Composición Nutricional..... | 22 |
| 6.1.3 Clasificación y variedades..... | 23 |
| 6.1.4 Factores climáticos para cultivo..... | 24 |
| 6.1.5 Cosecha y recolección..... | 24 |
| 6.1.6 Industrialización..... | 25 |
| 6.2 PECTINA..... | 25 |
| 6.2.1 Historia y Origen..... | 25 |
| 6.2.2 Estructura..... | 26 |
| 6.2.3 Clasificación..... | 27 |
| 6.2.4 Métodos de asilamiento o extracción..... | 28 |
| 6.2.5 Caracterización..... | 30 |
| 6.2.6 Propiedades..... | 30 |
| 6.2.7 Aplicaciones y demanda..... | 31 |
| CAPITULO II..... | 32 |
| 7 MATERIALES Y EQUIPOS..... | 32 |
| 8 METODOLOGÍA..... | 34 |
| 8.1 Recolección de la muestra..... | 34 |
| 8.2 Tratamiento de la muestra..... | 34 |
| 8.3 Extracción de pectina..... | 34 |
| 8.3.1 Escaldado..... | 34 |

| | |
|---|----|
| 8.3.2 Hidrólisis Ácida | 35 |
| 8.3.3 Separación de solidos..... | 35 |
| 8.3.4 Concentración de la solución | 35 |
| 8.3.5 Precipitación | 35 |
| 8.3.6 Lavado | 36 |
| 8.3.8 Secado..... | 36 |
| 8.3.9 Pulverización..... | 36 |
| 8.4 Caracterización fisicoquímica de la pectina | 38 |
| 8.4.1 Rendimiento (Porcentaje). | 38 |
| 8.4.2 Grado de esterificación | 38 |
| 8.4.3 Sólidos Solubles (° Brix)..... | 39 |
| 8.4.4 Acidez titulable..... | 39 |
| 8.4.5 Viscosidad..... | 40 |
| 9 TIPO DE INVESTIGACIÓN..... | 42 |
| 9.1 Diseño Experimental..... | 42 |
| 10 RESULTADOS..... | 44 |
| 10.1 Caracterización puntos de venta de piña en fresco | 44 |
| 10.2 Recolección de muestra cascara de piña <i>Ananas Comosus</i> | 45 |
| 12 ANALISIS DE RESULTADOS..... | 55 |
| 13 CONCLUSIONES | 60 |
| 14 ANEXOS | 61 |
| BIBLOGRAFIA | 74 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Composición en 100 g de Piña madura. (Alvarez & Ortiz, 2016) | 23 |
| Tabla 2 Empresas con mayor demanda de pectina en Colombia para el año 2011. Citado por (Acevedo y Ramírez, 2011) | 31 |
| Tabla 3 Listado de materiales y equipos. Fuente modificado de (Aza Espinosa & Méndez Arellano, 2011)..... | 32 |
| Tabla 4 Diseño experimental para evaluación de método de extracción. Fuente modificado de (Flores, Mariños, Rodríguez, & Rodríguez, 2013) | 42 |
| Tabla 5 Caracterización puntos de venta de piña las Mercedes..... | 44 |
| Tabla 6 Resultados masa de pectina extraída y rendimiento | 51 |
| Tabla 7 Porcentaje de rendimiento | 51 |
| Tabla 8 Resultado grado de esterificación..... | 52 |
| Tabla 9 Solidos solubles expresados como grados Brix..... | 52 |
| Tabla 10 Acidez titulable..... | 53 |
| Tabla 11. Resultados viscosidad de pectina cítrica ligera de alto metoxilo comercial | 54 |
| Tabla 12. Resultados viscosidad de pectina de cascará de piña..... | 54 |
| Tabla 13. Análisis de Varianza..... | 56 |
| Tabla 14. Resumen del Modelo | 57 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Partes de la planta de piña (Ananas Comosus)..... | 22 |
| Figura 2. Estructura de las pectinas..... | 27 |
| Figura 3. Estructura esquemática de la pectina | 27 |
| Figura 4. Proceso de extracción de pectina a partir de cáscara de piña..... | 37 |
| Figura 5. Recolección de cascara de piña. | 45 |
| Figura 6. Pesado de cascara en punto de venta..... | 46 |
| Figura 7. Embalaje de muestras en punto de venta..... | 47 |
| Figura 8. Tratamiento de la cascara de piña..... | 48 |
| Figura 9. Conformación de muestras experimentales..... | 49 |
| Figura 10. Procedimiento gráfico de extracción de pectina por hidrólisis ácida. | 50 |

LISTA DE GRAFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 Comparación caracterización fisicoquímica de pectina | 55 |
| Gráfico 2. Diagrama de Pareto de los efectos en la extracción de pectina..... | 56 |

ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO A. Encuesta caracterización puntos de venta de piña las Mercedes..... | 61 |
| ANEXO B. Proceso de extracción de pectina a partir de cascaras de piña en laboratorio multipropósito 1 UNAD CEAD Acacias. | 64 |
| ANEXO C Caracterización fisicoquímica de la pectina extraída de cascará de piña por el método de hidrolisis acida y comparación con pectina cítrica rápida de alto metoxilo comercial. | 69 |

GLOSARIO

Pectinas: Son un tipo de heteropolisacáridos. Una mezcla de polímeros ácidos y neutros muy ramificados. Constituyen el 30 % del peso seco de la pared celular primaria de células vegetales. En presencia de agua forman geles, tienen tres dominios principales: homogalacturonanos, ramnogalacturonano I y ramnogalacturonano II.

Hidrólisis: La palabra se deriva del griego hydro que significa agua, y lysis, que significa ruptura, por lo tanto, es la separación de los productos químicos cuando se añaden al agua.

Piña: Fruta tropical su nombre científico es *Ananas comosus*, es una planta que pertenece a la familia de las Bromeliáceas, genero Anna, especie Sativa presente en los trópicos y subtrópicos, originaria de Suramérica.

Metoxilo: Químicamente es un grupo funcional o radical consistente en un grupo metilo unido a un oxígeno.

Viscosidad: Una propiedad de los fluidos equivalente al concepto de *espesor*, es decir, a la resistencia que tienen ciertas sustancias para fluir.

Ácido Clorhídrico: Es un ácido fuerte que se disocia completamente en disolución acuosa, de fórmula molecular HCl.

Gelificación: Es el procedimiento mediante el cual se espesan y estabilizan soluciones líquidas, emulsiones y suspensiones.

CAPITULO I

RESUMEN

Con el desarrollo de este proyecto aplicado denominado extracción y caracterización de pectina a partir de residuos de cascaras de piña (*Ananas Comosus*) por el método de hidrólisis ácida, se buscó una alternativa para aprovechamiento de los residuos de cascará de piña generados por la venta de este fruto, aplicando la técnica de extracción de pectina por hidrólisis ácida.

El trabajo se realizó tomando muestras de cascará de piña del sector las Mercedes en el corredor vial entre Villavicencio y Acacias en el departamento del Meta, donde se encontró un total de 9 puntos de venta ambulantes los cuales en general en promedio 14.11 Kg de cascará /día, se empleó un diseño experimental 2² para el proceso de extracción de pectina con la combinación de variables de temperatura y tiempo donde se encontró que el factor determinante en la extracción de pectina por hidrólisis ácida es la temperatura dando un mejor rendimiento a 90°C.

Para el proceso de extracción y caracterización de la pectina a partir de cascara de piña se empleó equipos como balanza analítica Sartorius, agitador magnético Hetich, pH metro Hanna, Horno convencional Memmert, Bureta digital Brand de 25 ml, refractómetro de mano, materiales como vasos de precipitado de diferentes volúmenes, pipetas de 5 y 10 ml, probetas diferentes volúmenes, cuchillo, tabla plástica, embudo, vidrio de reloj, espátula y reactivos como ácido clorhídrico al 37%, hidróxido de sodio, fenolftaleína, etanol al 96%, agua destilada.

El proceso de extracción y caracterización fisicoquímica de la pectina obtenida a partir de cascará de piña se realizó en el laboratorio multipropósito 1 de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia Nodo Acacias, donde se obtuvo resultados como los siguientes: rendimiento de extracción de 1.15%, grado esterificación de 45.324, sólidos solubles de 0,366 °Brix, una acidez titulable de 0.0768 gr de ácido cítrico/100 ml y una viscosidad de 83.324 Cp.

Los resultados se compararon con una muestra de pectina cítrica ligera de alto metoxilo comercial con la cual se pudo concluir que la pectina obtenida a partir de la cascará de la piña corresponde a una pectina de bajo metoxilo teniendo en cuenta la diferencia en el resultado de grado de esterificación para las dos pectinas.

Palabras claves: Pectina, hidrolisis, piña, grado de metoxilo, viscosidad.

ABSTRACT

Development of this applied project called extraction and characterization of pectin from pineapple peel residues (*Ananas Comosus*) by the acid hydrolysis method. Searched an alternative use pineapple peel waste generated when this fruit was selling, applying the technique of pectin extraction by acid hydrolysis.

The project was carried out taking samples of pineapple peel from Las Mercedes site on the road between Villavicencio and Acacías in the Meta department, where were found a total of 9 sale places and which generate an average of 14.11 kg of peel/day. An experimental design 2² was used for the pectin extraction process with the combination of temperature and time variables where it was found that the determining factor in the extraction of pectin by acid hydrolysis and the temperature which gives a better product is at 90°C.

Equipment for the extraction process and characterization of pectin from pineapple peel were; Sartorius analytical balance, Hettich magnetic stirrer, Hanna pH meter, Memmert conventional oven, Brand digital burette 25 ml, hand refractometer, materials such as beakers of different volumes, 5 and 10 ml pipettes, different volume specimens, knife, plastic cutting board, funnel, watch glass, spatula and reagents such as hydrochloric acid 37%, sodium hydroxide, phenolphthalein, ethanol 96%, distilled water.

The extraction process and physicochemical characterization of pectin obtained from pineapple peel were carried out in the multipurpose laboratory 1 at the National Open University and Distance, Acacías Node. Where results such as the following were obtained: extraction yield 1.15%, esterification grade 45,324, soluble solids 0,366° Brix, a titratable acidity 0.0768gr of citric acid/100ml and a viscosity of 83,324Cp.

Results were compared with a sample of light citrus pectin of high commercial methoxyl, which it could be concluded that the pectin obtained from the pineapple peel corresponds to low methoxyl pectin taking into account the difference in the grade result of esterification for the 2 pectins.

Keywords: Pectin, hydrolysis, pineapple, methoxyl grade, viscosity.

1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de piña en regiones tropicales como el Meta representa una fuente importante de alimentos y materia prima para la población y la industria nacional, la piña lleva por nombre científico *Ananas Comosus* pertenece al reino vegetal, división monocotiledóneas, familia de las bromeliáceas (Orinoquia, 2014).

(Alvarez Bazurto & Ortiz Paredes, 2016) “Está compuesto principalmente por agua aproximadamente 85% de su peso, rica en vitaminas A, B, C y E, rica en glúcidos como glucosa sacarosa y levulosa”.

El procesamiento y consumo de piña tanto en fresco como procesada genera una alta cantidad de residuos hasta un 65 % entre cascara, corazón y corona son desechos potencialmente aprovechables la cascara corresponde a un 41% (Alvarez Bazurto & Ortiz Paredes, 2016). La cascara por su composición merece una atención especial ya que de ella es posible obtener materiales o sustancias de interés industrial como la pectina la cual es utilizada en la industria de alimentos y fármacos debido a su poder gelificante y la propiedad que tiene de absorber una gran cantidad de agua, los geles de pectina son importantes para crear o modificar la textura de alimentos como compotas, jaleas, salsas y en la industria de alimentos lácteos en elaboración de yogurt de frutas y productos bajos en grasa. (Parichat & Jurairat, 2017)

Con el uso actual de tecnologías, procesos químicos y biotecnológicos es posible dar un uso productivo a los desechos orgánicos como las cascara de los cítricos, es por esto que se hace necesario hoy en día el estudio y caracterización de los componentes que hacen parte de los residuos y que se pueden aprovechar con fines industriales, por ejemplo, técnicas como la hidrólisis ácida aplicada a las cascara de la fruta es útil para la extracción de pectina.

Con base a lo anterior, el objetivo de este trabajo de investigación es extraer y caracterizar la pectina a partir de la cascara de piña (*Ananas Comosus*) mediante el método de hidrólisis ácida y pruebas fisicoquímicas, como medida de aprovechamiento de los residuos generados por el consumo y procesamiento de piña.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el departamento del Meta, específicamente en el pie de monte llanero se observa una alta producción de cultivos de piña por lo que el departamento ocupa el tercer puesto a nivel nacional con una producción de 90198.50 Toneladas/año (Minagricultura, 2018).

La comercialización de piña (*Ananas Comosus*) se realiza en la gran mayoría en presentación de rodajas en fresco, jugo y otras bebidas no alcohólicas, del total de un fruto de piña únicamente se aprovecha la pulpa equivalente a 33 %, desperdiciando alrededor de 41% que corresponde a la cascara, un 6 % al corazón y un 20% a la corona. (Saavedra, 2014).

La industria alimentaria requiere para sus procesos insumos que cumplen funciones como espesantes, estabilizantes, gelificantes de los cuales depende la calidad del producto terminado, por lo que las grandes industrias de sectores como conservas de frutas, lácteos, jugos, helados entre otras adquieren materia prima como la pectina importada a falta de producción nacionales.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta que la región del piedemonte llanero cuanta con la materia prima suficiente como las cascara de piña y de otros cítricos, pueden ser un potencial para la extracción de pectina de alta calidad aplicando métodos de extracción de bajo costo como lo es la hidrólisis ácida. Se plantea como pregunta de investigación la siguiente.

¿Es posible extraer pectina de la cáscara de piña mediante hidrólisis ácida con características similares a la comercial?

3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad con el desarrollo de las nuevas tecnologías, en especial la biotecnología, es posible potencializar el uso y aprovechamiento de los innumerables residuos generados por la industria de alimentos, aplicando procedimientos químicos, biológicos, enzimáticos u otros.

En Colombia se dispone de una gran variedad de frutos cítricos que además de la pulpa presentan compuestos químicos de interés industrial en la composición de la cascara o pared como los polisacáridos, se ha encontrado que en el tejido parénquimático y mesenquimático de la fruta se forma un polisacárido de alto peso molecular denominado pectina, el cual es altamente utilizado en la industria de alimentos, farmacia y cosméticos debido a su poder gelificante (Saavedra, 2014).

Según el reporte del ministerio de agricultura para el año 2016 en Colombia se obtuvo una producción de 755.970.74 Toneladas de Piña/año, los departamentos en los cuales se concentra el 64,95 % de la producción nacional son Santander, Valle del Cauca y Meta este último con un aporte de 12,34% lo que representa en gran medida la disponibilidad de materia prima potencialmente aprovechable para la obtención de pectina a partir de subproductos y deshechos de las frutas en la región del pie de monte llanero (Minagricultura, 2018).

Para el caso del Meta es común la comercialización de la piña en diferentes presentaciones como rodajas frescas, la elaboración de bebidas no alcohólicas de tipo artesanal y el procesamiento industrial en la elaboración de fruta deshidratada, todos estos métodos de consumo y transformación de fruta generan una gran cantidad de residuos como cascaras las cuales son desechadas como residuos ordinarios. Debido a esto se plantea el trabajo de investigación que tiene como fin la extracción y caracterización de pectina a partir de residuos de cascaras de la piña (*Ananas Comosus*) mediante el método de hidrólisis ácida.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Extraer y caracterizar la pectina a partir de la cáscara de piña (*Ananas Comosus*) mediante el método de hidrolisis acida y pruebas fisicoquímicas.

4.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar el rendimiento de la extracción de pectina a partir de residuos de cascara de piña mediante la técnica de hidrolisis acida.
2. Caracterizar fisicoquímicamente la pectina extraída de la cascara de la piña por medio de pruebas de laboratorio.
3. Comparar los resultados de la caracterización fisicoquímica de la pectina obtenida de la cascara de la piña frente a una pectina comercial.

5 MARCO REFERENCIAL

Un estudio realizado por Cerón y Cardona (2011) describe la evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina, a partir de cascara de naranja, aplicando un método de extracción simulado acoplado al real, en este estudio los autores encontraron que para el caso de la extracción de pectina a partir de un kg de cáscara de naranja se obtuvo un rendimiento de 49.27% a pH de 2.8 un tiempo de hidrolisis de 60 minutos y una temperatura de 80°C.

En un estudio realizado por Chasquibol et al (2008) relacionado con la extracción y caracterización de pectina a partir de varios frutos de la biodiversidad peruana, encontraron que el níspero de la sierra (*Nespilus germánica*) y la granadilla (*Pasiflora ligularis*) se destacaron por su alto contenido de ácido galacturónico (87,97% y 85,99%), alto grado de metoxilación (89,15% y 88,24%), alto grado de esterificación (86,24% y 88,79%).

Arellano y Hernandez (2013) en su trabajo realizaron un proceso de extracción de pectina a partir de piña y níspero por el método convencional y caracterización de las pectinas obtenidas, encontrando los siguientes resultados; para la pectina extraída de piña una Humedad de 54.4%, Cenizas 0.4%, peso equivalente 2857 mg/meq, acidez titulable 6.86%, contenido de metoxilo 3.1%, grado de esterificación 76.92% y rendimiento 1.6044 %.

En cuanto a la optimización de parámetros de extracción de pectinas Baltazar et al (2013) en su investigación determinaron las condiciones óptimas de extracción de pectina a partir de cascara de limón aplicando el método de superficie de repuesta, como resultado determinaron que los valores óptimos para la extracción se presentó a: ($T^{\circ} = 70-80^{\circ}\text{C}$, $\text{pH} = 1-1,5$) obteniendo una pectina con un peso molecular de 30666.912 g/mol, el máximo porcentaje de pectina extraída corresponde a una muestra obtenida a 73°C, pH 1,3 y tiempo de 60 minutos.

Según estudio realizado por Einhorn-Stoll et al (2018) a cerca de la degradación térmica de la pectina cítrica en un ambiente de baja humedad, influencia del tratamiento previo ácido y alcalino, encontraron que las pectinas modificadas, así como la pectina comercial, se degradaron térmicamente durante cuatro semanas de almacenamiento a 60°C y 80% de humedad relativa. También concluyen con este trabajo que las pectinas desmetoxiladas por tratamientos ácidos son más sensibles a la degradación térmica que las pectinas desmetoxiladas por un tratamiento alcalino.

Para el caso de pectina extraída de cascara de piña no hay mucha información por lo que se tomara como referente estudios similares en frutas cítricas como la cascara de naranja debido a que es un fruto cultivado en las mismas condiciones ambientales de la piña. A demás de encontrar antecedentes de extracción de

pectina por el método de hidrólisis ácida como se describe en estudio realizado por Devia (2003).

6 MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de este proyecto aplicado, se revisa temáticas específicas que serán descritas posteriormente así como las generalidades del cultivo de piña a nivel nacional, sus características químicas, nutricionales, físicas, factores ambientales que influyen en el cultivo, producción y productores, de igual forma se aborda el tema de la pectina como eje principal del trabajo frente a la composición química, fuentes de extracción, métodos de extracción, propiedades, aplicación a nivel industrial y parámetros fisicoquímicos para la caracterización.

6.1 PIÑA (*Ananas Comosus*)

6.1.1.1 Definición

“Piña o *Ananas* es un fruto fresco perteneciente a la especie *Ananas spp* según la Norma Técnica Colombiana NTC 792-1, familia de las bromeliáceas, compuesta de 46 géneros y 2000 especies aproximadamente” (Saavedra, 2014).

6.1.1.2 Taxonomía y descripción botánica

Nombre científico *Ananas Comosus*, botánicamente es una planta herbácea con una altura alrededor de 1 metro, posee de 30 a 40 hojas (Orinoquia, 2014).

6.1.1.3 Sistema Radicular

El sistema radicular es superficial según Saavedra (2014) “puede crecer hasta 2 metros, extenderse hasta 15 cm del suelo y algunas pueden llegar a los 30 cm de profundidad”.

6.1.1.4 Tallo

“Es una estructura anclada al suelo por el sistema radicular y puede medir hasta 30 cm de largo, 6.5 cm de base y 3.5 cm de centro” (Saavedra, 2014).

6.1.1.5 Hojas

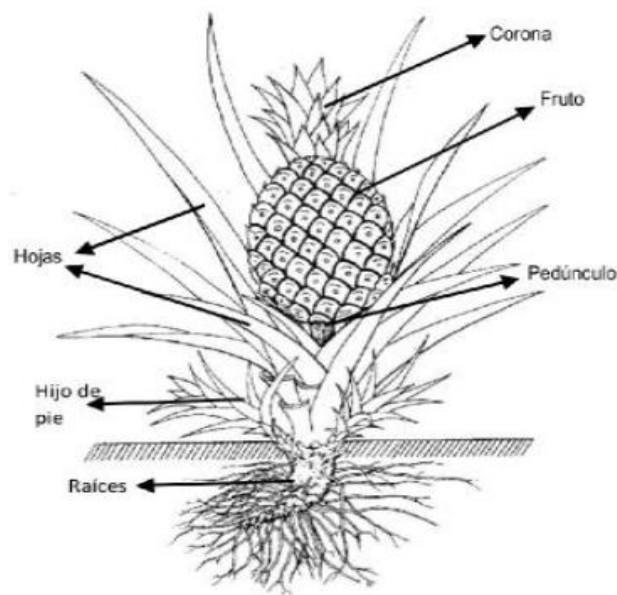
según Saavedra (2014). “Las hojas poseen venas paralelas y tienen espinas en la punta, tienen forma variable según su posición en la planta, grado de crecimiento y madurez”.

6.1.1.6 Fruto

El fruto de la piña es de forma ovalada o cilíndrica se sitúa sobre el pedúnculo y presenta un rango de color de verde hasta anaranjado de acuerdo a su estado de madurez, presenta pulpa jugosa y sabor dulce, ligeramente ácido, su peso alcanza hasta las 8 libras para piñas grandes (Alvarez & Ortiz, 2016).

“La parte comestible consiste en los ovarios, base de los sépalos, brácteas y la corteza del eje. La cáscara está formada por los sépalos y brácteas de la flor. Es un fruto no climatérico” (Morazán, 2010).

Figura 1. Partes de la planta de piña (*Ananas Comosus*)



Fuente. (Cerrato Iliana, 2013)

6.1.2 Composición Nutricional

Según Catañeda (2003), “La Piña es una fruta rica en carbohidratos como glucosa, sacarosa y levulosa, vitaminas del grupo A, B, C y E, minerales. Contiene Bromelina como ingrediente activo, mezcla de 5 enzimas proteolíticas”. Tiene propiedades nutritivas, porque tiene un alto contenido de agua, destaca por su aporte de carbohidratos y bromelina, enzima que ayuda a la digestión de las proteínas. A pesar de su sabor dulce, su valor calórico es moderado respecto a otros nutrientes, en la tabla 1 se muestra la composición en 100 g de piña madura. (Contreras y Tamani. 2016)

Tabla 1 Composición en 100 g de Piña madura.

| Componente | Unidad | Cantidad |
|-------------------------|---------------|-----------------|
| Energía | Kcal | 50 |
| Carbohidratos | G | 13.12 |
| Azúcares | G | 9.85 |
| Fibra Alimentaria | G | 1.4 |
| Grasas | G | 0.12 |
| Proteínas | G | 0.54 |
| Tiamina (Vit. B1) | Mg | 0.079 |
| Riboflavina (Vit. B2) | mg | 0.032 |
| Niacina (Vit. B3) | mg | 0.5 |
| Ácido Pantoténico (B5) | mg | 0.213 |
| Vitamina B6 | mg | 0.112 |
| Ácido Fólico (Vit. B9) | µg | 18 |
| Ácido Ascórbico (Vit C) | mg | 47.8 |
| Calcio | mg | 13 |
| Hierro | mg | 0.29 |
| Magnesio | mg | 12 |
| Manganeso | mg | 0.927 |
| Fósforo | mg | 8 |
| Potasio | mg | 109 |
| Sodio | mg | 1 |
| Zinc | mg | 0.12 |

Fuente. (Alvarez & Ortiz, 2016)

6.1.3 Clasificación y variedades

En Colombia se cultiva tres variedades de piña tales como: Perolera, Cayela lisa y Manzana.

6.1.3.1 Variedad Perolera:

Se considera un clon de cayena, posee hojas sin espinas el fruto maduro presenta un color amarillo – anaranjado y ojos profundos. Es la variedad más sembrada en Colombia y apetecida por su sabor y calidad. (Rivera & Salgado, 2017)

6.1.3.2 Variedad Cayena Lisa:

Es la variedad más sembrada en el mundo, es una fruta excelente para la agroindustria, las hojas solo presentan espinas en la parte superior y algunas en la base. Tiene un alto contenido de jugo y poco de fibra; la cascara es lisa y el color de la pulpa es blanco-amarillenta. (Rivera & Salgado, 2017).

6.1.3.3 Variedad Gold Md2:

Es una variedad doble propósito: proceso y mercado fresco y de mayor aceptación a nivel mundial. La fruta posee forma simétrica y uniforme, con un color amarillo atractivo. Contiene mayor cantidad de azúcares y vitamina C, con muy buen sabor y aroma (Rivera & Salgado, 2017).

6.1.4 Factores climáticos para cultivo

6.1.4.1 Clima

Según Saavedra, (2014). “El cultivo de piña se desarrolla en óptimas condiciones a una altura que va desde los 100 hasta los 600 msnm, la temperatura óptima para el cultivar oscila entre 25 a 27 °C”.

6.1.4.2 Luminosidad

“La piña requiere altos niveles de luminosidad para sus procesos fisiológicos, una luminosidad óptima favorece la producción de frutas brillantes y atractivas a la vista de los consumidores” (Saavedra, 2014).

6.1.4.3 Suelo

“Se desarrollo en suelos con textura liviana, bien drenados, y franco o franco arcilloso. La acidez debe estar entre 4.5 a 6 de pH con niveles muy bajos de elementos tóxicos como el aluminio” (Saavedra, 2014).

6.1.5 Cosecha y recolección

Los frutos parcialmente maduros se recolectan de forma manual, la fruta se toma de la corona y se inclina hacia un lado para que el pedúnculo se quiebre, o con algún objeto filoso se corta el pedúnculo del mismo con el fin de dejar una pequeña parte que sirva de tapón natural y evite penetración de patógenos (Garzón Cerrato, 2016).

Recolección: la fruta debe manipularse con delicadeza durante la cosecha y transporte evitando magulladuras o golpes; también se debe recoger lo más pronto posible del lote cosechado, debido a que la exposición prolongada a altas temperaturas acelera el proceso de maduración. Del cuidado que se le dé en este proceso de poscosecha dependerá el tiempo de perdurabilidad que tenga el fruto en vitrina (Garzón Cerrato, 2016).

6.1.6 Industrialización

La piña a nivel nacional se comercializa en diversas formas, la más común es en fresco como rodajas, pero también gran parte es destinada a procesos industriales donde se transforma, conserva y comercializa con un valor agregado, los principales productos a base de Piña son los siguientes: piña envasada, piña deshidratada, néctar, pulpa, jugo concentrado, jalea, mermeladas, bocadillos, vinagre entre otros según (Saavedra, 2014).

En el departamento del Meta es común observar la comercialización de piña en fresco, bien sea en rodajas o en jugo y en forma de piña deshidratada principalmente.

6.2 PECTINA

6.2.1 Historia y Origen

La pectina fue descubierta en 1790 cuando Vauquelin encontró una sustancia soluble en zumo de las frutas. En 1825 el científico francés Braconnot encontró una sustancia ampliamente disponible en los tejidos vegetales, la cual adquiriría propiedades gelificantes cuando se le añadía ácido a su solución, la llamó "pectina ácida", del griego "pectos" que significa sólido denso coagulado (Gamboa, 2009).

Según los reportes de (Gamboa, 2009) "las mayores concentraciones de pectina se han encontrado en la lámina media de la pared celular, disminuyendo gradualmente su contenido hacia la membrana plasmática. Constituyen, una tercera parte de la pared celular de las plantas dicotiledóneas y algunas monocotiledóneas. Las pectinas cumplen una función lubricante y cementante en la pared celular de las plantas superiores; están implicadas en la textura y maduración de los frutos y en el crecimiento de los vegetales. Además, se encuentran asociadas con una parte sustancial de las materias estructurales de los tejidos blandos (parénquima de las

frutas, celulosa y de las raíces carnosas) y le otorgan a la pared celular la habilidad de absorber grandes cantidades de agua”.

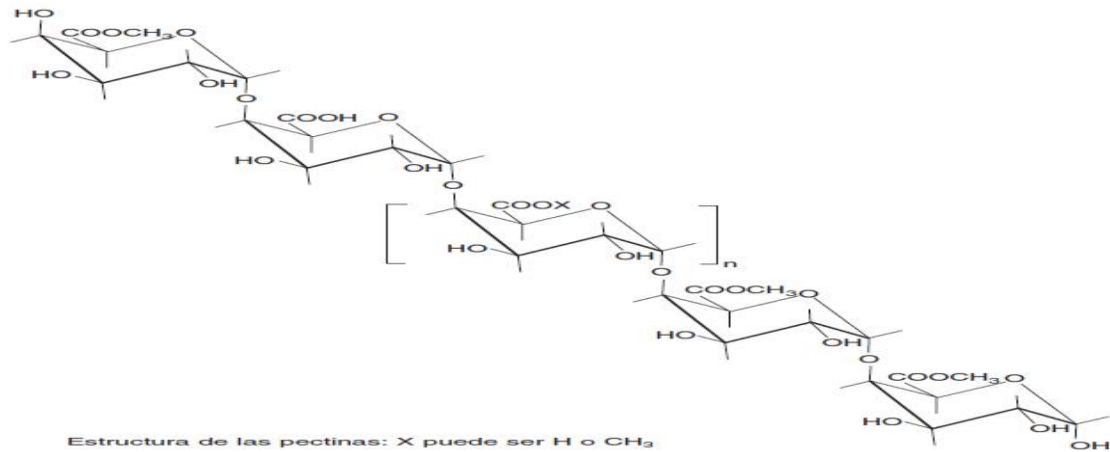
6.2.2 Estructura

Las sustancias pécticas comprenden un extenso grupo de heteropolisacáridos vegetales cuya estructura básica está integrada por moléculas de ácido D-galacturónico, unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1,4), en la cual algunos de los carboxilos pueden estar esterificados con metilos o en forma de sal (Badui Dergal, 2006).

Se pueden distinguir dos clases principales de sustancias pécticas: los ácidos pectínicos, que tienen una pequeña porción de sus ácidos poligalacturónicos como ésteres metílicos, y los ácidos pécticos, que sólo contienen moléculas de ácido poligalacturónico libre de esterificación. Por definición, las pectinas son ácidos pectínicos con diferentes grados de esterificación y neutralización, que pueden contener de 200 a 1000 unidades de ácido galacturónico. Existen otros compuestos de este tipo, las protopectinas, altamente esterificadas con metanol y muy insolubles en agua, que se encuentran en los tejidos inmaduros 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 ácido pectínico, en un proceso que ocurre durante la maduración y que trae consigo el ablandamiento del fruto (Badui Dergal, 2006).

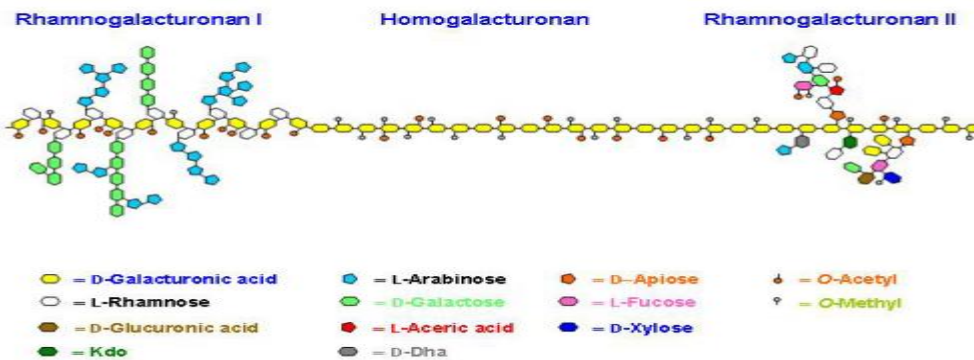
Las pectinas son heteropolisacáridos que pueden contener dos regiones bien definidas (Imagen 3). Una región lisa o homogalacturano, la cual consiste en un esqueleto de residuos de ácidos D-galacturónico unidos mediante enlaces (1,4)- α , los cuales pueden estar acetilados en el carbono C2 o C3, o metilados en el C6 y una región rugosa o ramnogalacturonano I, consistente en un heteropolímero en el que los residuos de ácido D-galacturónico del esqueleto de la pectina están interrumpidos por residuos de L-ramnosa unidos por enlaces (1,2)- α , a las cuales se pueden unir por cadenas largas de arabinano y galactano en el carbono C4. El ramnogalacturonano II, es un polisacárido de 30 unidades que contiene un esqueleto de ácido galacturónico, sustituido por 4 cadenas laterales de ramnosa, arabinosa y azúcares no comunes como, apiosa y metilfucosa (Gamboa, 2009).

Figura 2. Estructura de las pectinas (Badui Dergal, 2006).



Fuente. (Badui Dergal, 2006)

Figura 3. Estructura esquemática de la pectina



Fuente. (Gamboa, 2009)

6.2.3 Clasificación

Según (Gamboa, 2009) “las pectinas se pueden clasificar de acuerdo a las modificaciones que sufren en su cadena principal, sin embargo, el término de pectina puede aplicarse a: protopectinas, ácidos pécticos, ácido pectínicos y pectina”.

6.2.3.1 Protopectina

Se describen como las sustancias pécticas que se encuentran en los tejidos vegetales y son insolubles en agua y de las cuales posteriormente se forman las sustancias pécticas solubles por procesos de hidrólisis (Gamboa, 2009).

6.2.3.2 Ácidos pectínicos

Son ácidos poligalacturónicos con cantidades variables de grupos metilos esterificados con los grupos carboxilo del C6. Las sales de los ácidos pectínicos, son denominadas pectinatos, tienen la propiedad de formar geles con azúcares, ácidos y cuando los contenidos de metilo son muy bajos tienden a formar geles con sales de calcio (Gamboa, 2009).

6.2.3.3 Ácidos pécticos

Son galacturonatos que no contienen grupos metilos, también se les denomina ácidos poligalacturónicos. A las sales que lo conforman se les llama pectatos o ácidos poligalacturonatos (Gamboa, 2009).

6.2.3.4 Pectinas

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

6.2.3.5 Pectina de alto metoxilo

Son aquellas en las cuales más del 50% de los grupos carboxilos del ácido galacturónico del polímero se encuentra esterificado con metanol. El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades en particular, se ha encontrado que, a mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación. Estas pectinas son capaces de formar geles en condiciones de pH entre 2,8 y 3,5 y un contenido de sólidos solubles (*azúcar*) entre 60 y 70% (Baltazar et al., 2013).

6.2.3.6 Pectina de bajo metoxilo

Son aquellas que presentan grado de esterificación (DE) menor al 50%. Su gelificación se controla introduciendo iones calcio en el sistema y tiene lugar a pH entre 2.5 a 6.5, con sólidos solubles entre 10-20% (Gamboa, 2009).

6.2.4 Métodos de aislamiento o extracción

La extracción de pectina se define como un proceso físico-químico que consta de múltiples etapas de hidrólisis y extracción de macromoléculas de pectina de tejido vegetal y su solubilización en el disolvente a granel, todas ellas de forma continua bajo la influencia de diferentes parámetros de proceso, principalmente temperatura, pH y tiempo (Methacanon, Krongsin, & Gamonpilas, 2014).

Según (Gamboa, 2009) “Existe una gran cantidad de frutas que constituyen una buena fuente de pectinas de alta calidad, como la manzana, y algunos cítricos, como el limón, toronja y lima, grosellas, arándanos, uvas, guayabas, ciruelas, frambuesas, entre otras”.

Para fines industriales, las fuentes de obtención de las pectinas se restringen principalmente a las cascara de los frutos cítricos (20-35%), infrutescencia del girasol (15-25%), remolacha (10-20%) y pulpa de manzana (10-15%) (Chasquibol et al., 2008).

Para la extracción de pectinas se han empleado diversas técnicas, las convencionales como la extracción por arrastre de vapor e hidrodestilación, las no convencionales como la extracción asistida por microondas (EAM) y la extracción por hidrólisis ácida que es aplicada ampliamente a nivel industrial. (Urango et al., 2018)

6.2.4.1 Extracción Asistida por Microondas (EAM)

La técnica de extracción asistida por microondas se basa en el uso de la energía de microondas para conseguir que los compuestos de interés pasen rápidamente de la muestra a un disolvente adecuado, además, es una técnica que utiliza volúmenes pequeños de solvente y permite el control de una serie de parámetros que afectan a la eficiencia de extracción (Seixas et al., 2014).

6.2.4.2 Extracción por hidrólisis ácida

- El método extracción por hidrólisis ácida consiste en someter al sustrato a una cocción en medio ácido, posterior filtración y purificación, con lo cual se logra separar la pectina presente del resto de compuestos de las cáscaras, para luego secarla y molerla hasta tener un fino polvo listo para comercializarlo. Se lleva a cabo por diferentes operaciones como son: (Baltazar et al., 2013).
- *Hidrólisis Ácida:* Al material sólido se le agrega la misma cantidad de agua usada inicialmente y a esta solución se le agrega ácido sulfúrico, ácido nítrico o preferiblemente, ácido clorhídrico hasta obtener un pH entre 1 y 3. El tiempo de calentamiento de la solución es de 60 minutos manteniendo la temperatura en el valor deseado entre 70 y 80°C con agitación constante (Baltazar et al., 2013).
- *Precipitación:* En la etapa de precipitación de las pectinas se pueden emplear sales o alcoholes preferiblemente, para la industria de alimentos, se recomienda un volumen de alcohol equivalente al 80% de la solución que se va a precipitar. Para esta etapa del proceso se empleará etanol al 95 o 96% (Baltazar et al., 2013).

6.2.4.1 Extracción enzimática de pectinas

El método enzimático emplea pectinesterasa o pectinmetilesterasa, la cual convierte a las pectinas de alto metoxilo en pectinas de bajo metoxilo sin la despolimerización de la molécula de pectina (Arellano & Hernandez, 2013).

6.2.5 Caracterización

La calidad de las pectinas extraídas a partir de residuos de fruta (cáscaras) depende de varios factores entre ellos el método de extracción, la temperatura, el pH y el tiempo, por lo tanto, se debe caracterizar mediante pruebas fisicoquímicas como las siguientes: humedad, cenizas totales, acidez libre, peso equivalente, grado de esterificación, consistencia de geles y viscosidad (Gamboa, 2009).

6.2.6 Propiedades

6.2.6.1 Gelificación

La formación de geles es una de las propiedades más importantes de las pectinas para la industria de alimentos. Según (Gamboa, 2009) “los geles consisten en moléculas poliméricas con enlaces entrecruzados que dan forma a una red interconectada y tupida inmersa en un líquido”.

Las pectinas de bajo contenido de metoxilo tienen la capacidad de formar geles en presencia de cationes divalentes, comúnmente calcio. Ese tipo de sistemas de gelificación se debe a la formación de zonas de uniones intermoleculares entre regiones homogalacturónicas iguales, pero de diferentes cadenas de pectinas. (Gamboa, 2009).

Las pectinas de altos contenidos de metoxilos tienen la facilidad de formar geles con azúcar y adecuada proporción de ácido; por lo que se les denominan geles de baja actividad de agua o geles de azúcar-ácido y pectina. (Gamboa, 2009).

El mecanismo de gelificación de la pectina, es determinado principalmente por el grado de esterificación (DE). Para las pectinas de bajo contenido de metoxilos (DE < 50%), la gelificación resulta de la interacción iónica no-covalente entre grupos de residuos de ácido galacturónico de las cadenas de pectinas y con iones divalentes que usualmente contienen calcio. La afinidad de las pectinas con los iones de calcio tiende a aumentar cuando disminuye el grado de esterificación o la fuerza iónica y con el aumento de la concentración del polímero. Además, la influencia de la densidad de la cadena de polygalacturonato y la distribución modelo de los grupos carboxilos libres y esterificados tiene un importante efecto sobre la fuerza de unión de los iones de calcio (Sharma y col., 2006).

6.2.6.2 Viscosidad

La viscosidad es la propiedad de un fluido mediante la cual se ofrece resistencia al corte. La unidad de viscosidad es el Poise (g/cm s); más comúnmente se lo utiliza el submúltiplo el centiPoise.

Para evaluar esta variable se utiliza un viscosímetro de caída de bola marca Thermo Haake. El viscosímetro de caída de bola se basa en el sistema de medida Höppler y está diseñado para medir la viscosidad de líquidos newtonianos. Este método de medida se basa en la diferente velocidad de caída que presenta un sólido esférico en el seno de un líquido como consecuencia del mayor o menor valor del coeficiente de fricción o viscosidad. La viscosidad de dicho líquido, a su vez, dependerá de su temperatura, disminuyendo a medida que aumenta la temperatura. El método de Höppler es muy preciso y se ha empleado frecuentemente en formas farmacéuticas, excipientes, mezclas líquidas, macromoléculas en disolución, etc. (Lopez Ruiz, Egea Gonzalez, & Laiz, 2017)

6.2.7 Aplicaciones y demanda

La pectina en Colombia es utilizada principalmente por la industria de alimentos, específicamente para la producción de mermeladas, dulces, bocadillos, postres y helados entre otros, las empresas que más demandan pectina en el país se reportan en la tabla 2. (Acevedo y Ramírez, 2011).

Tabla 2 Empresas con mayor demanda de pectina en Colombia para el año 2011.

| EMPRESA | TIPO DE UNIDAD | CANTIDAD | % |
|----------------------------------|----------------|----------|-------|
| Gaseosas posada Tobón S.A | Kilogramo | 102000 | 23,37 |
| Quiméro S.A | Kilogramo | 81904,66 | 18,77 |
| T-Vapan 500 S.A | Kilogramo | 78115 | 17,9 |
| Danisco Colombia LTDA | Kilogramo | 72675 | 16,65 |
| Alpinaproductos alimenticios S.A | Kilogramo | 57380 | 13,15 |
| Surtiquimicos LTDA | Kilogramo | 35136,6 | 8,05 |
| Conservas California S.A | Kilogramo | 6000 | 1,37 |
| Tecnas S.A | Kilogramo | 1200 | 0,27 |

| | | | |
|-------------------|-----------|------|------|
| Andiquimicos LTDA | Kilogramo | 1000 | 0,23 |
|-------------------|-----------|------|------|

Fuente: (Acevedo y Ramírez, 2011)

Según (Baltazar et al., 2013) “la pectina de alto metoxilo preserva a los productos lácteos de la precipitación de caseína cuando se calienta a pH inferiores a 4,3. Este efecto se usa para estabilizar los yogurts líquidos”.

CAPITULO II

7 MATERIALES Y EQUIPOS

Tabla 3. Listado de materiales y equipos.

| Materia Prima | Materiales | Equipos | Reactivos |
|---|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| Cascara de Piña 5 Kg | Cuchillo | Balanza analítica Sartorius LE623 | Etanol al 95% |
| Pectina Cítrica ligera de alto metoxilo marca CIACOMEC | Tabla para picar | Plancha de calentamiento con agitación magnética Heidolp MK3001K | Ácido Clorhídrico 0.1N y 0.5N |
| | Vasos de precipitado de 1L | Bureta Digital de 25 ml Brand | Hidróxido de sodio 0.1N y 0.5N |
| | Pipeta de 5 y 10 mL | Horno de secado convencional memmert | Fenolftaleína |
| | Vidrio de reloj | pH-metro de mano Hanna | Agua destilada |
| | Erlenmeyer de 250 mL | Viscosímetro de caída de bola Thremo Haake | |
| | Espátula | Refractometro de mano ATC ecala 0-32°Brix | |

| | | | |
|--|---------------------|--|--|
| | Probeta de 100 mL | | |
| | Papel filtro | | |
| | Embudo de vidrio | | |
| | Tamiz | | |
| | Mortero de mano | | |
| | Picnómetro de 10 ml | | |
| | Pie de rey | | |

Modificado de (Aza Espinosa & Méndez Arellano, 2011).

8 METODOLOGÍA

8.1 Recolección de la muestra

La muestra de cáscara fue tomada en diferentes puntos de venta ambulantes de piña en el sector las Mercedes vía Acacias Villavicencio, la cáscara de piña se recolectó en fresco procedente de frutos sanos con madurez óptima, sin materias extrañas o presencia de hongos.

Se recolecto en bolsas de polipropileno de baja densidad entre 500 y 1000 g de cáscara de piña de cada punto de venta ambulante hasta completar un total de 5000 g, las bolsas con cierre hermético son embaladas en nevera de poliestireno a una temperatura entre 5 y 10 °C para prevenir la acción de los microorganismos mientras son trasportadas al laboratorio multipropósito 1 de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia CEAD Acacias.

8.2 Tratamiento de la muestra

La clasificación de la cáscara de piña se realiza acorde al estado de madurez según la norma técnica colombiana NTC 729-1 (grado 5) y contenido de pulpa adherida a la cascará no mayor a un espesor de 0,5 cm.

El lavado y desinfección se realiza siguiendo las recomendaciones de la FAO para desinfección de productos vegetales con hipoclorito de sodio a 150 ppm a una exposición de 5 minutos (López, 2003).

Las cascaras son troceadas en cuadros de tamaño aproximado de 2 cm con ayuda de cuchillo y tabla para picar, se homogeniza las muestras y se mezclan uniformemente para posteriormente de forma aleatoria tomar muestras de 300 g para cada tratamiento.

8.3 Extracción de pectina

La extracción de pectina de las cáscaras de piña se realizó por el método de hidrolisis acida mediante los siguientes pasos descritos por Devia (2003).

8.3.1 Escaldado

El proceso de escaldado se realizó para inactivar las enzimas en la cáscara de piña de la siguiente forma: adicionando 300 g de cascara de piña (pesada en balanza analítica) en un 1 L de agua y calentar hasta ebullición por 20 minutos con ayuda

de la plancha de calentamiento, luego con ayuda de un tamiz separar la cascara del agua (Devia Pineda, 2002).

8.3.2 Hidrólisis Ácida

Los ensayos preliminares para evaluar las condiciones de extracción de pectina se realizarán variando los dos factores la temperatura (50, y 90 °C) y el tiempo de extracción (40, y 120 minutos) siguiendo el proceso descrito a continuación:

A 300 g de cascara de piña se adiciono 1 L de solución de ácido clorhídrico al 0.1 N en 4 vasos de precipitado, sometiendo la mezcla a cada uno de los tratamientos del diseño experimental así: vaso 1 (90°C por 50 min), vaso 2 (90°C por 120 min), vaso 3 (50°C por 50 min) y vaso 4 (50°C por 120 min) “con agitación constante en agitador magnético, verificando que el pH de la mezcla ente entre 1.5 a 3 con ayuda de pH-metro previamente calibrado” (Devia Pineda, 2002).

8.3.3 Separación de solidos

El filtrado se realizó en tamiz para separar el sólido del líquido hasta obtener la mayor cantidad de líquido, las cáscaras fueron desechadas.

8.3.4 Concentración de la solución

Con el fin de concentrar la solución, el líquido fue calentado a 80 °C en plancha de calentamiento hasta reducir su volumen a una tercera parte con el fin de concentrar la solución (Devia Pineda, 2002).

8.3.5 Precipitación

La solución anterior se llevó a baño de hielo hasta una temperatura inferior a 25 °C, una vez la solución alcanza una temperatura baja se adiciona etanol al 96 % en una proporción etanol: liquido 3:1 (Devia Pineda, 2002).

La solución resultante, se dejo en reposo la mezcla hasta observar formación de precipitado, el cual corresponde a la pectina extraída.

8.3.6 Lavado

La pectina precipitada se separó del etanol por medio de, un tamiz o papel filtro, se lavando con agua destilada y se re-precipita con etanol al 96° para mejorar el color, repitiendo el proceso de filtrado hasta obtener la pectina lo más sólida posible (Arellano & Hernandez, 2013).

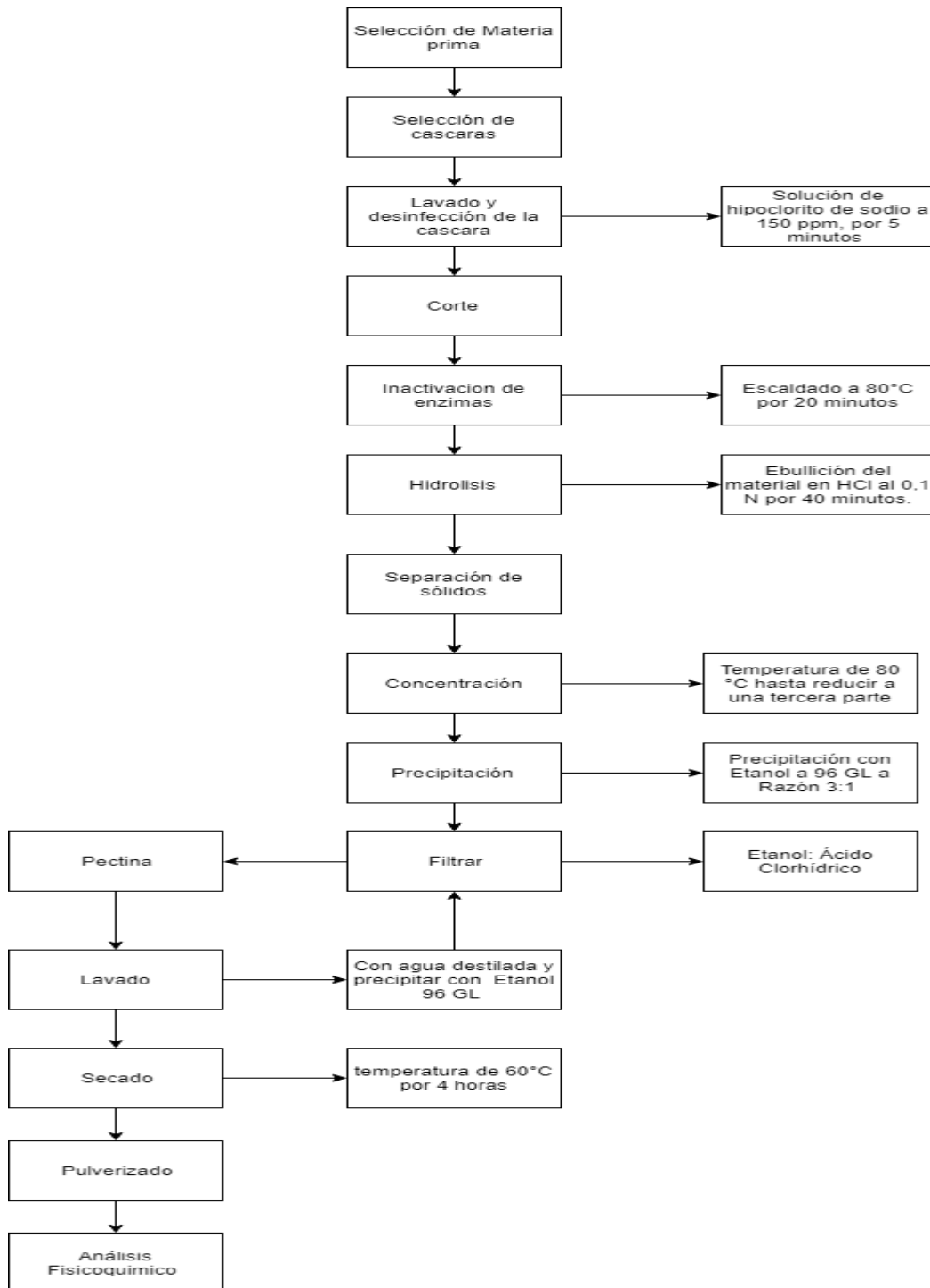
8.3.7 Secado

La pectina se secó a 60 °C durante 4 horas en, un horno convencional marca memmert, hasta peso constante. Después se llevó a desecador hasta que se enfriara y se registró el peso en balanza analítica (Arellano & Hernandez, 2013).

8.3.8 Pulverización

Después de registrar el peso en la balanza analítica se procedió a triturar la pectina en un mortero. La pectina triturada se empaco en bolsas con cierre hermético para posterior análisis fisicoquímico (Acevedo y Ramírez, 2011).

Figura 4. Proceso de extracción de pectina a partir de cáscara de piña.



Fuente. Modificado de (Devia Pineda, 2002)

8.4 Caracterización fisicoquímica de la pectina

Para la determinación de la calidad de la pectina obtenida se realizaron pruebas fisicoquímicas y comparación con pectina comercial. Las pruebas realizadas fueron las siguientes: Rendimiento la cual se llevó a cabo aplicando método gravimétrico, grado de esterificación determinado mediante proceso de valoración de una solución de pectina al 1% con hidróxido de sodio al 0,1 N, sólidos solubles determinados por lectura directa con refractómetro de una solución al 5% de pectina, acidez titulable mediante proceso de titulación ácido-base y la viscosidad determinada por la técnica de caída de bola.

Se aplicará el procedimiento descrito por Aza y Arellano (2011) en trabajo de tesis para optar por el título de ingeniero Agroindustrial.

8.4.1 Rendimiento

El rendimiento es una relación entre el peso obtenido y el peso inicial por cien, se determina mediante una balanza gramera digital, con la finalidad de cuantificar el rendimiento de la pectina obtenida después de la molienda con base al peso de la cáscara de piña cortada. Se aplica la siguiente fórmula (Aza Espinosa & Méndez Arellano, 2011):

$$\% \text{ de Rendimiento} = \frac{W_2}{W_1} * 100$$

Donde W_2 corresponde al peso de la pectina obtenida y W_1 es el peso de cáscara de piña.

8.4.2 Grado de esterificación

El grado de esterificación es un factor importante que caracteriza las cadenas de las pectina de los grupos carboxilos, se determina usando el método de valoración de Schultz y Schweiger (1965) de la pectina obtenida después de la molienda con la finalidad de evaluar el tipo de pectina, y cuyo protocolo es el siguiente: Se valoran 10 ml de disolución de pectina al 1 % con NaOH (hidróxido de sodio) 0,1 N, usando fenolftaleína como indicador (valoración A), añadiendo 20 ml de NaOH 0,5 N en un tiempo determinado (30 minutos) con el fin de desesterificar la pectina. A continuación, se añade 20 ml de HCl (ácido clorhídrico) 0,5 N para neutralizar el NaOH. Finalmente, la disolución se valora con NaOH 0,1 N (valoración B) (Aza Espinosa & Méndez Arellano, 2011).

El grado de esterificación se calcula aplicando la siguiente ecuación

$$DE = \frac{B}{A + B} * 100$$

Donde

A= Volumen de NaOH gastado antes de la neutralización

B= Volumen de NaOH después de la neutralización

8.4.3 Sólidos Solubles (° Brix)

Los grados °Brix indican los sólidos solubles presentes en la solución, se determina por lectura directa con un refractómetro manual ATC con escala de 0 a 32 °Brix de una solución de pectina al 5 % en agua destilada (Aza Espinosa & Méndez Arellano, 2011).

8.4.4 Acidez titulable

La acidez titulable se expresa convencionalmente como equivalente en masa de ácido cítrico, el fundamento de la técnica consiste en determinar la acidez por medio de una titulación Acido-base con unas soluciones de álcali estandarizado contenido en el producto y se determina de acuerdo al método (AOAC, 942.15) basada en una titulación con NaOH 0,1 N y fenolftaleína como indicador, tiene como finalidad evaluar la cantidad de ácido en la pectina obtenida después de la molienda. (Aza Espinosa & Méndez Arellano, 2011).

Los resultados se expresan aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Acidez} (g \text{ ácido cítrico} / 100 \text{ ml}) = \frac{V_{Mx} * C_{Mx} * f_{(ácido cítrico)} * 100}{C_{(NaOH 0,1N)} * \text{masa muestra} (g)}$$

Donde

$V_{(Mx)}$ = Volumen gastado de la solución de NaOH estandarizada.

$C_{(Mx)}$ = Concentración de la solución de NaOH estandarizada.

$C_{(NaOH 0.1M)}$ = Concentración ideal de la solución de NaOH (0,1M)

$f_{(ácido cítrico)}$ = factor de conversión de equivalencia de 1 mL de NaOH 0,1M a Ácido cítrico anhidro (0,006404)

La determinación de Acidez por el método (AOAC, 942.15) se realizó siguiendo el procedimiento que se describe a continuación:

8.4.4.1 Preparación de la muestra

Pesar 20 g de la muestra en un vaso de precipitado de 250 mL. Llevar a un volumen aproximado de 100 mL con agua desionizada y agregar un agitador magnético sumergible. Mezclar bien antes de comenzar la titulación. (AOAC Official Method 942.15, 2005)

8.4.4.2 Verificación y calibración del pH-metro

Verificar que el electrodo esté sumergido en su correspondiente solución (generalmente suele ser KCl 3M o 4M). Mantener una temperatura ambiental de 15 a 25 °C para realizar las determinaciones. (AOAC Official Method 942.15, 2005)

Lavar adecuadamente el electrodo con agua desionizada varias veces (verificar esta limpieza sumergiendo el electrodo en agua desionizada, donde se obtengan valores de pH cercanos a 6). (AOAC Official Method 942.15, 2005)

Ajustar el pH-metro a modo de calibración y registre las lecturas de los tampones de calibración trazables de pH 4, 7 y 10. Debe además registrar la temperatura de funcionamiento. (AOAC Official Method 942.15, 2005)

Medir el pH de un tampón control de pH 7, para verificar si la lectura del equipo es correcta.

8.4.4.3 Determinación de acidez titulable

Llenar la bureta digital con al menos 25 mL de la solución estandarizada de NaOH. Manteniendo su muestra en agitación, titular rápidamente hasta llegar a un pH cercano a 6. Entonces adicionar la solución más lentamente hasta llegar a pH 7.

Una vez alcanzado el pH 7, finalizar la titulación adicionando la solución de no más de 4 gotas y esperando una lectura estabilizada antes de repetir. Una vez cerca de un pH de 8.0, adicionar la solución de titulación gota a gota, esperando estabilización. (AOAC Official Method 942.15, 2005)

Finalizar la titulación hasta un pH de 8.1 (utilizando un rango de 8.1 ± 0.2 , lo cual se considera aceptable para interpolar en la curva de calibrado, según los cambios de temperatura que pueden ocurrir en el proceso). Anotar el gasto total de la titulación.

8.4.5 Viscosidad

La determinación de la viscosidad se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento:

Se determino el valor de la viscosidad de las muestras de pectina cítrica comercial y de la pectina extraída a partir de cascará de piña en solución al 2%, utilizando un

viscosímetro de caída de bola marca Thremo Haake acoplado a termostato de marca thermo electrón corporación, para la determinación se empleó la bola de vidrio con la cual se calibro el equipo.

El viscosímetro consta, como elemento fundamental, de un tubo de vidrio de paredes gruesas que lleva marcadas dos señales anulares en las proximidades de sus extremos y otra a una distancia intermedia. Este tubo está inserto en otro tubo mucho más ancho destinado a alojar agua circulante como medio termostático, procedente de un baño maría cuya temperatura se regula mediante un termostato de inmersión LAUDA modelo LCE4226-15-0065. El conjunto formado por los dos tubos se encuentra dispuesto en una posición ligeramente inclinada y puede ser girado 160° alrededor de un eje perpendicular a ambos tubos. El tubo interior debe estar perfectamente limpio. Se llena entonces de agua destilada a 25°C (Lopez Ruiz, Egea Gonzalez, & Laiz, 2017).

Se elige una esfera de vidrio de la colección suministrada por el fabricante. Antes de introducir la bola escogida en el tubo interior, se debe pesar en la balanza de precisión y su diámetro se debe medir con el pie de rey, para así poder calcular su densidad. Uno de los cierres del tubo interior va provisto de una pieza caza-burbujas para evitar la presencia de aire en el interior. Si quedase alguna burbuja dentro del tubo interno, hay que sacarla antes de comenzar a medir. Una vez que el sistema baño-tubos ha alcanzado la temperatura ambiente, (lo cual se comprobará con el termómetro) se invierte el viscosímetro y con un cronómetro que aprecie segundos, se mide el tiempo que tarda la esfera en pasar entre el enrasedo superior y el inferior. Esta operación se repite tres veces, de manera que se pueda obtener el tiempo promedio, t . Con este tiempo puede calcularse la velocidad de caída V (considerada constante si el experimento está bien diseñado). (Lopez Ruiz, Egea Gonzalez, & Laiz, 2017)

Con la velocidad de caída V , junto con el valor de la viscosidad del agua destilada a cada temperatura, se puede determinar el valor de la constante adimensional k que caracteriza la bola en el tubo interior, aplicando la siguiente ecuación (Lopez Ruiz, Egea Gonzalez, & Laiz, 2017):

$$K = \frac{\eta * v}{0,222 * R^2(\rho_b - \rho_l) * g}$$

Donde:

η : Viscosidad de agua destilada a 25°C en cP

v : Velocidad de caída de la bola en m/s

R : Radio de la bola en cm

ρ_b : Densidad de la bola (determinada como la masa de la bola/volumen de la esfera) en g/cm³

ρ_l : Densidad del líquido (agua a 25°C) en g/cm³

g: Valor de la gravedad

De esta manera se calibra el instrumento. Posteriormente, se llena el tubo interior con el líquido cuya viscosidad se desea conocer (solución de pectina, comercial y extraída de cascará de piña) y se mide su densidad con ayuda del picnómetro.

Introduciendo la bola en el tubo interior de nuevo, se realiza de nuevo las medidas del tiempo de caída en el seno del nuevo líquido con la misma bola para la temperatura seleccionada. Como ya se conoce la constante k de la bola, podremos obtener la viscosidad del líquido (solución de pectina) aplicando la siguiente ecuación (Lopez Ruiz, Egea Gonzalez, & Laiz, 2017).

$$\eta = t * (\rho_b - \rho_l) * K$$

9 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se emplea el tipo de investigación descriptiva, la selección de la muestra se realizó de forma aleatoria en los diferentes puntos de venta ambulantes de piña hasta obtener una cantidad de 5 kg. En total se realizará el proceso de extracción de pectina a 5 clases o grupos de 300 g cada uno de los cuales se conformarán a partir de la muestra (5 kg) de forma aleatoria simple.

9.1 Diseño Experimental

El diseño experimental es factorial de la forma 2^k en donde k tiene un valor de dos. Para el análisis de resultados se realiza un análisis de varianza de dos factores empleando el software estadístico Minitab 18 versión libre, con el cual se evaluarán los parámetros de extracción de pectina frente a la interacción de tiempo y temperatura, por hidrólisis ácida empleando una solución de HCl 0.1N (Guerrero, 2017).

Tabla 4. Diseño experimental para evaluación del método de extracción.

| Fuentes de Variación | | Parámetro |
|----------------------|-----|-------------|
| Temperatura °C | 50 | Rendimiento |
| | 90 | |
| Tiempo (minutos) | 40 | Rendimiento |
| | 120 | |

Modificado de (Flores, Mariños, Rodríguez, & Rodríguez, 2013)

10 RESULTADOS

10.1 Caracterización puntos de venta de piña en fresco

La caracterización de puntos de venta de piña se realizó en el sector las Mercedes entre la vía Acacias Villavicencio, teniendo como criterio la cantidad de piña comercializada, la presentación y la cantidad de cáscara generada principalmente. Se observó un total de 9 puntos de venta ambulantes activos de 14 hijos, los datos proporcionados por cada uno de los encuestados se reflejan en la tabla número 5.

Tabla 5 Caracterización puntos de venta de piña las Mercedes

| Punto de venta | Variedad (Piña) | Cantidad piña (Unidad/Día) | | Peso cascara Kg (Dia) | Disposición final de cáscara | Nombre encuestado |
|----------------|-----------------|----------------------------|--------|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| | | Entera | Rodaja | | | |
| 1 | Mayanes | 40 | 26 | 12 | Alimentación animal | Olga María López |
| 2 | Mayanes | 35 | 23 | 11 | Alimentación animal | Olga María López |
| 3 | Mayanes | 50 | 31 | 15 | Alimentación animal | Alexander Salazar |
| 4 | Mayanes | 60 | 30 | 14 | Vehículo recolector | Yuliana Eliusca |
| 5 | Mayanes | 50 | 40 | 19 | Vehículo recolector | Didier |
| 6 | Mayanes | 60 | 45 | 21 | Vehículo recolector | Didier |
| 7 | Mayanes | 47 | 35 | 17 | Vehículo recolector | Didier |
| 8 | Mayanes | 30 | 17 | 8 | Vehículo recolector | Leidy Martínez |
| 9 | Mayanes | 25 | 20 | 10 | Alimentación animal | Carmen López |
| Promedio | | 397 | 29,66 | 14,11 | | |

Fuente. Elaboración propia

10.2 Recolección de muestra cascara de piña *Ananas Comosus*

Se realizó la recolección de la muestra de cáscara de piña variedad mayanes en cada uno de los puntos de venta de forma aleatoria hasta completar 5 kg tal como se describe en la metodología.

Figura 5. Recolección de cáscara de piña.



Fuente. Elaboración propia

Figura 6. Pesado de cáscara en punto de venta



Fuente. *Elaboración propia*

Figura 7. Embalaje de muestras en punto de venta.



Fuente. Elaboración propia

10.3 Extracción de pectina por el método de hidrólisis ácida

Las muestras recolectadas se transportaron al laboratorio multipropósito 1 de la universidad nacional abierta y a distancia CEAD Acacias, realizándose las operaciones que se describen a continuación:

10.3.1 Tratamiento de la muestra

Las bolsas con la cáscara son desempacadas en un solo recipiente (bandeja plástica), se realizó el lavado y selección de las cáscaras como se representa en el siguiente diagrama.

Figura 8. Tratamiento de la cáscara de piña



Fuente. Elaboración propia

10.3.2 Corte y agrupación de muestras

Se realizó el proceso de corte o troceado de las cáscaras seleccionadas y posteriormente se realizó la conformación de muestras de 300 g las cuales serán sometidas a los diferentes tratamientos de hidrolisis ácida de acuerdo al diseño experimental planteado.

Figura 9. Conformación de muestras experimentales



Fuente. Elaboración propia

10.3.3 Hidrólisis ácida

Se realizó el proceso de hidrólisis ácida de la cáscara de piña empleando una solución de ácido clorhídrico 0.1 N siguiendo el diseño experimental 2^2 planteado en la tabla 5, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.

Tabla 5. Diseño experimental para la extracción de pectina 2^2 con valores

| Temperatura °C (A) | Tiempo min (B) |
|--------------------|----------------|
| (+) 90 | (+)120 |
| (+) 90 | (-) 40 |
| (-) 50 | (+)120 |
| (+) 50 | (-) 40 |

Fuente. Elaboración propia

Figura 10. Procedimiento gráfico de extracción de pectina por hidrólisis ácida.



Fuente. Elaboración propia

Se determinó el rendimiento de extracción de pectina a partir de cáscaras de piña *Ananas Comosus* mediante el método de hidrólisis ácida utilizando la siguiente ecuación:

$$\%R = \frac{W_2}{W_1} * 100$$

Donde

W_2 corresponde al peso de la pectina obtenida en g

W_1 es el peso de cascara de piña en g.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla número 6.

Tabla 6 Resultados masa de pectina extraída y rendimiento

| Temperatura °C (A) | Tiempo min (B) | Masa pectina (g) | Rendimiento % |
|--------------------|----------------|------------------|---------------|
| (+) 90 | (+)120 | 0.48 g | 0.16 |
| (+) 90 | (-) 40 | 0.53 g | 0.17 |
| (-) 50 | (+)120 | 0.25 g | 0.083 |
| (-) 50 | (-) 40 | 0.22 g | 0.073 |

Fuente. Elaboración propia

11. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA PECTINA

Para la caracterización fisicoquímica de la pectina se procedió a realizar una nueva extracción aplicando únicamente los parámetros que mostraron mejor rendimiento en el diseño experimental, con el fin de obtener una mayor cantidad se utilizó una muestra de 900 g de cáscara de piña realizando los pasos tal como se describió en el diseño experimental para el proceso de extracción por el método de hidrólisis acida.

Las características fisicoquímicas se realizaron para la pectina obtenida a partir de la cascará de la piña y se comparó con los resultados de una pectina cítrica rápida de alto metoxilo comercial como patrón.

Los resultados, incluido el rendimiento se presentan a continuación:

11.1 Rendimiento

Se determinó el porcentaje de rendimiento teniendo como base 900 g de cascará de piña obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 7 Porcentaje de rendimiento

| Muestra | Masa de cascará (g) | Masa de pectina (g) | % de rendimiento |
|-----------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| Piña variedad Mayanes | 900 | 10.408 | 1.15 |

Fuente. Elaboración propia

11.2 Grado de esterificación

Se determinó el grado de esterificación de la pectina obtenida aplicando el método de valoración de Schultz y Schweiger (1965) descrito en la metodología, el análisis se realizó por triplicado tanto para las muestras de pectina obtenida como para la muestra de pectina cítrica rápida de alto metoxilo comercial (marca CIACOMEG SAS) que se utilizó como estándar. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 8.

Tabla 8 Resultado grado de esterificación

| Muestra | Ensayo | Grado de esterificación | Promedio |
|----------------------------|--------|-------------------------|----------|
| Pectina de cascará de piña | 1 | 46,2025 | 45,3244 |
| | 2 | 46,9136 | |
| | 3 | 42,8571 | |
| Pectina cítrica comercial | 1 | 94,7917 | 93,9484 |
| | 2 | 93,1900 | |
| | 3 | 93,8636 | |

Fuente. Elaboración propia

11.3 Sólidos Solubles

Se determinó el contenido de sólidos solubles de una solución de pectina al 5% tanto de la muestra de pectina obtenida a partir de cáscara de piña como de la muestra comercial. Para esta medición se utilizó un refractómetro portátil marca J&G.

Los resultados se presentan en la tabla número 9 con ensayos por triplicado.

Tabla 9. Sólidos solubles expresados como grados Brix

| Muestra | Ensayo | ° Brix | Promedio |
|---------------------------|--------|--------|----------|
| Pectina cítrica comercial | 1 | 2,5 | 2,83 |
| | 2 | 3,1 | |
| | 3 | 2,9 | |
| | 1 | 0,3 | |

| | | | |
|----------------------------|---|-----|-------|
| Pectina de cascará de piña | 2 | 0,4 | 0,366 |
| | 3 | 0,4 | |

Fuente. Elaboración propia

11.4 Acidez titulable

Se determinó la acidez titulable aplicando el método (AOAC, 942.15) para la muestra de pectina obtenida a partir de la cascará de piña y de la muestra comercial por triplicado.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 10. (AOAC Official Method 942.15, 2005)

Tabla 10. Acidez titulable

| Muestra | Ensayo | Acidez titulable (g ácido cítrico / 100ml) | Promedio |
|----------------------------|--------|--|----------|
| Pectina cítrica comercial | 1 | 0,3141 | 0,3122 |
| | 2 | 0,3026 | |
| | 3 | 0,3199 | |
| Pectina de cascará de piña | 1 | 0,0778 | 0,0768 |
| | 2 | 0,0778 | |
| | 3 | 0,0749 | |

Fuente: Elaboración propia

11.5 Viscosidad

Los resultados obtenidos para las muestras determinadas se muestran en las tablas 11 y 12.

Tabla 11. Resultados viscosidad de pectina cítrica ligera de alto metoxilo comercial

| Muestras de Pectina Comercial al 2% | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Muestra | Densidad (g/cm ³) | Tiempo de caída de bola (s) | Viscosidad (cp) |
| Pectina cítrica comercial | 1,0312 | 496,692 | 2739,911 |
| | | 486,756 | |
| | | 483,552 | |
| Promedio | | 489,000 | |

Fuente. Elaboración propia

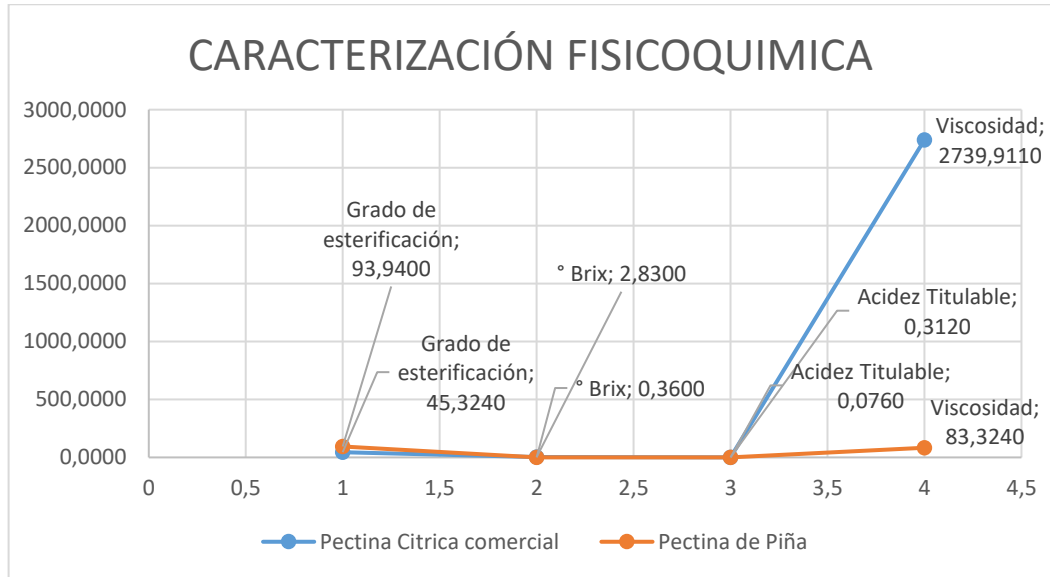
Tabla 12. Resultados viscosidad de pectina de cascará de piña

| Muestras de Pectina de cascará de piña al 2% | | | |
|---|-------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Muestra | Densidad (g/cm ³) | Tiempo de caída de bola (s) | Viscosidad (cp) |
| Pectina de Cascará de piña | 1,0108 | 14,67 | 83,324 |
| | | 14,39 | |
| | | 14,8 | |
| Promedio | | 14,62 | |

Fuente. Elaboración propia

En el grafico número 1 se presentan los resultados a modo de comparación de las características fisicoquímicas realizadas a las dos muestras de pectina (extraída a partir de cascará de piña y pectina cítrica rápida de alto metoxilo comercial).

Gráfico 1 Comparación caracterización fisicoquímica de pectina



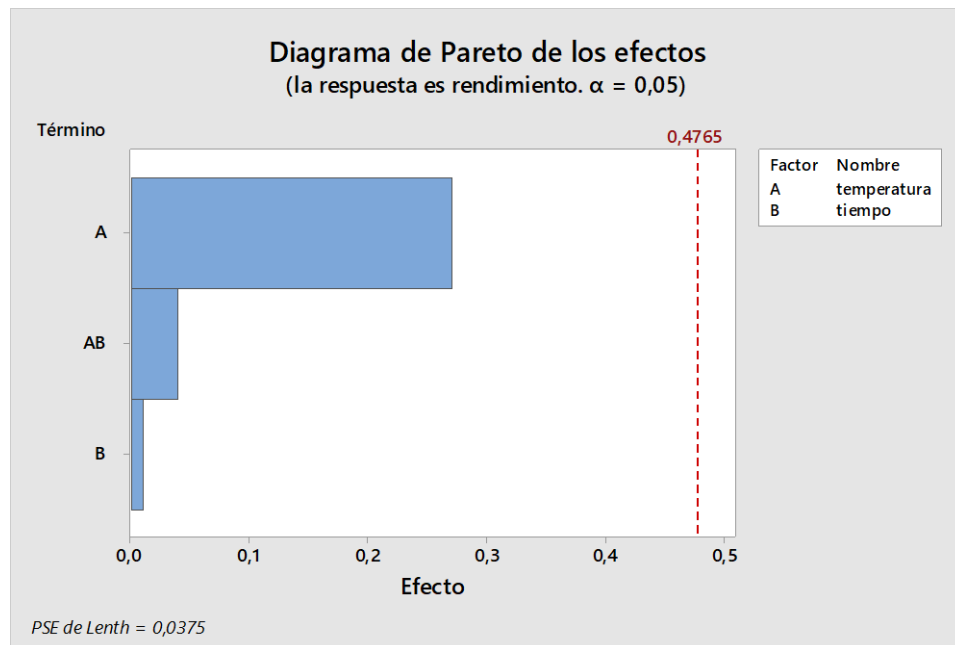
Fuente: Elaboración propia

12 ANALISIS DE RESULTADOS

12.1 Análisis estadístico de diseño experimental 2²

Una vez realizado el diseño experimental para la extracción de pectina por el método de hidrólisis ácida, se determinó el análisis estadístico con ayuda del programa Minitab 18 versión libre, obteniendo como resultado el parámetro más relevante en el diseño como se evidencia en el grafico número 1.

Gráfico 2. Diagrama de Pareto de los efectos en la extracción de pectina



Fuente. Minitab 18

Tabla 13. Análisis de Varianza

| Fuente | GL | SC Ajust. | MC Ajust. | Valor F | Valor p |
|-----------------------------|----|-----------|-----------|---------|---------|
| Modelo | 3 | 0,0746 | 0,0249 | * | * |
| Lineal | 2 | 0,0730 | 0,0365 | * | * |
| Temperatura | 1 | 0,0729 | 0,0729 | * | * |
| Tiempo | 1 | 0,0001 | 0,0001 | * | * |
| Interacciones de 2 términos | 1 | 0,0016 | 0,0016 | * | * |
| temperatura*tiempo | 1 | 0,0016 | 0,0016 | * | * |
| Error | 0 | * | * | | |
| Total | 3 | 0,0746 | | | |

Fuente. Minitab 18

Tabla 14. Resumen del Modelo

| S | R-cuad. | R-cuad. (ajustado) | R-cuad. (pred) |
|---|---------|-----------------------|-------------------|
| * | 100,00% | * | * |

Fuente Minitab 18

12.2 Extracción y rendimiento de pectina a partir de cascará de piña (*Ananas comosus*) por el método de hidrólisis ácida

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología propuesta para la extracción de pectina a partir de la cascará de piña (*Ananas comosus*) se encontró que el método de hidrólisis ácida fue efectivo en la obtención de pectina a nivel de laboratorio, de acuerdo al diseño experimental el factor mas relevante a tener en cuenta en la extracción es la temperatura de igual forma se pudo determinar que la combinación que mostró mejor resultado fue temperatura de 90°C por un tiempo de extracción de 40 minutos.

Los resultados de rendimiento muestran que el método de hidrólisis ácida fue efectivo y se obtuvo 1,15 % de pectina a partir de cascará de piña, en comparación con el estudio realizado por (Arellano & Hernandez, 2013) quienes reportan un rendimiento de 1,604% resultados muy similares por lo que se establece que la metodología y la materia prima utilizada mostraron resultados óptimos y confiables.

Por otra parte, si se compara el rendimiento obtenido con otras fuentes como el mesocarpio del maracuyá del estudio realizado por (Silva, Benites, Carlos, & Gomero, n.d.) se puede ver que el rendimiento es bajo ya que los autores obtuvieron un 21,60%, una posible causa de la diferencia de resultados puede ser debido a la composición de la cáscara de cada uno de los frutos, también a la concentración de ácido clorhídrico empleado ya que en el estudio realizado por *Silva et al*, se utilizó HCl al 0,003N, una concentración muy baja en comparación con la utilizada lo que pudo llevar a afectar la extracción.

12.3 Caracterización fisicoquímica y comparación con pectina comercial

La caracterización fisicoquímica se realizó comparando los resultados tanto para la pectina obtenida a partir de la cascará de piña y la pectina cítrica ligera de alto metoxilo comercial.

En cuanto a los resultados obtenidos para el grado de esterificación se pudo observar una diferencia significativa entre las dos pectinas analizadas, el grado de esterificación de la pectina cítrica comercial nos confirma que se trata de una pectina de alto metoxilo ya que se obtuvo un valor de 93,948 esto indica que más del 50% de los grupos carboxilo se encuentran esterificados (Baltazar Flores, Carbajal Mariños, Baca Rodriguez, & Salvador Rodriguez, 2013).

Por otra parte, para la pectina obtenida a partir de cascará de piña se obtuvo un grado de esterificación de 45,32 lo que indica que corresponde a una pectina de bajo metoxilo donde menos del 50% de los grupos carboxilo se encuentran esterificados (Baltazar Flores, Carbajal Mariños, Baca Rodriguez, & Salvador Rodriguez, 2013).

Comparando de igual forma los resultados de grado de esterificación con el estudio de (Arellano & Hernandez, 2013) quienes reportaron para la pectina de cáscara de piña un valor de 76.92 % frente a 45,32 % de la obtenida en laboratorio la diferencia se puede atribuir a la variedad de piña utilizada y a la madurez de la cascará la cual no se cuantifico.

Los resultados obtenidos para el contenido de solidos solubles mostraron una diferencia significativa en las dos pectinas analizadas, la pectina cítrica comercial tiene un valor de 2,84 ° Brix frente a 0,36 ° Brix de la pectina extraída a partir de la cáscara de piña.

Comparando de igual forma con el valor obtenido en el estudio de (Arellano & Hernandez, 2013) la diferencia es un poco menor ya que ellos reportan 1,9°Brix, valor que está por debajo del valor encontrado en la pectina comercial al igual que la extraída en este estudio.

Los resultados obtenidos de acidez titulable muestran que la pectina extraída a partir de cascará de piña presenta una baja acidez con un valor de 0,0768 g de ácido cítrico/ 100 ml si se compara con la pectina cítrica comercial y la pectina de cáscara de piña del estudio de (Arellano & Hernandez, 2013) cuyos valores fueron 0,312 y 6,86 respectivamente. La baja acidez obtenida se puede atribuir en gran parte a la madurez de las cáscaras ya que está procede de piña que se destina a consumo en fresco por lo que se encuentra en un grado máximo de madurez según la NTC 729-1 clasificadas en el grupo 5.

12.3 Comparación de la calidad de pectina obtenida con la muestra comercial.

Una de las propiedades más importantes medidas en las muestras de pectina fue la viscosidad y de acuerdo con los resultados se encontraron diferencias significativas que concuerdan con los resultados de los demás parámetros. De esta forma se tiene que para la solución al 2% de pectina cítrica comercial se obtuvo una

viscosidad de 2739,911 cP y para la pectina extraída de cascará de piña un valor de 83,324 cP.

Por lo anterior se infiere que efectivamente la alta viscosidad sumada a los grados Brix y el grado de esterificación mayor a 50% para la pectina cítrica comercial indica que como patrón utilizado en el experimento corresponde a una pectina ligera de alto metoxilo, en tanto que la pectina obtenida a partir de la cascará de piña se podría clasificar como de bajo metoxilo como indica (Chasquibol Silva, Arroyo Benites, & Morales Gomero, 2008) “el pH y la concentración de sólidos son factores secundarios que influyen en la velocidad y la temperatura de gelificación y además en la textura final del gel”.

La pectina de bajo metoxilo como la que se obtuvo con el desarrollo de este trabajo, tiene la propiedad de formar un gel cuyo soporte está constituido por una estructura reticular de pectinatos de calcio, y en condiciones como contenido de sólidos solubles hasta de 2% y un pH cercano a la neutralidad. Para la gelificación (Chasquibol Silva, Arroyo Benites, & Morales Gomero, 2008)

13 CONCLUSIONES

Con el desarrollo de este trabajo se determinó que es posible extraer pectina de las cáscaras de piña aplicando el método de hidrólisis ácida en base al rendimiento y característica obtenidas.

La aplicación del diseño experimental 2^2 para la extracción de pectina a partir de cascaras de piña mediante el método de hidrólisis acida nos permitió identificar que el factor más influyente en el proceso es la temperatura mostrando un mayor rendimiento cuando la hidrólisis se realiza a 90°C . El método de extracción por hidrólisis ácida que mostro mayor rendimiento se obtuvo a una temperatura de 90°C y a un tiempo de hidrólisis de 40 minutos.

Mediante la caracterización fisicoquímica de la pectina obtenida a partir de cascará de piña se concluye que una vez comparada con la pectina cítrica comercial como patrón corresponde a una pectina de bajo metoxilo. Se puede concluir de otra parte que la obtención de pectina de bajo metoxilo a partir de cascará de piña es una alternativa para aprovechar la gran cantidad de residuos generados en el pie de monte llanero.

14 ANEXOS

ANEXO A. Encuesta caracterización puntos de venta de piña las Mercedes

CARACTERIZACION PUNTOS DE VENTA DE PIÑA EN FRESCO VIA ACACIAS VILLAVIECENCIO

1. NOMBRE DEL SECTOR las Mercedes

2. NUMERO DE PUNTOS DE VENTA 9

ENCUESTA

| Punto de venta | Variedad de piña | Cantidad de venta diaria | Cantidad de cáscara generada por día | Disposición final de la cáscara | Firma de encuestado |
|----------------|------------------|---------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| 1 | Mayanes | Entera: 400 Rodaja: 26 | 12 kg | Alimentación animal | Olga María Lopez |
| 2 | Mayanes | Entera: 35 Rodaja: 23 | 11 kg | Alimentación animal | Olga María Lopez |
| 3 | Mayanes | Entera: 50 Rodaja: 31 | 15 kg | Alimentación animal | Alexander Salazar |
| 4 | Mayanes | Entera: 60 Rodaja: 30 | 14 kg | vehículo recolector | Yuliana Eustacia |
| 5 | Mayanes | Entera: 50 Rodaja: 40 | 19 kg | vehículo recolector | Didier |
| 6 | Mayanes | Entera: 60 Rodaja: 45 | 21 kg | vehículo recolector | Didier |
| 7 | Mayanes | Entera: 47 Rodaja: 35 | 17 kg | vehículo recolector | Didier |
| 8 | Mayanes | Entera: 30 Rodaja: 17 | 8 kg | vehículo recolector | leidy ArtimeS |

| | | | | | |
|----|---------|----------------------|------|-------------------------|-----------------|
| 9 | Mayores | Edad: 25 Raza: 20 | 20kg | Alimentación Prima I | Carmen López |
| 10 | | | | | |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |
| 13 | | | | | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | | | | |

Encuestador

Edward C. Avila
Edward Cedulio Avila Garavito

Estudiantes. Esp en procesos de alimentos y biomateriales

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA

Figura 1. Caracterización puntos de venta de piña las Mercedes



Fuente. Elaboración propia

ANEXO B. Proceso de extracción de pectina a partir de cascaras de piña en laboratorio multipropósito 1 UNAD CEAD Acacias.

Figura 2 Hidrólisis Ácida cascara de piña *Ananas comosus*



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Tratamientos diseño experimental para proceso de hidrólisis ácida.



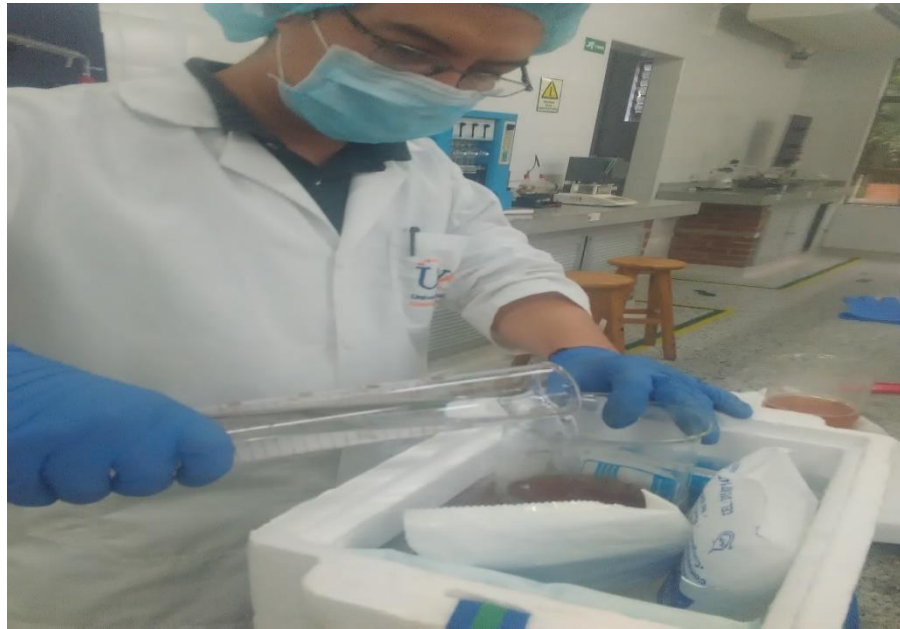
Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Separación sólido líquido. Fuente autor



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Proceso de precipitado de pectina con etanol al 95%. Fuente autor



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Formación de precipitado. Fuente autor



Fuente: Elaboración propio

Figura 7. Filtrado de pectina.



Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Proceso de secado de pectina.



Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Pesaje de pectina obtenida.



Fuente: Elaboración propia

ANEXO C Caracterización fisicoquímica de la pectina extraída de cáscara de piña por el método de hidrólisis ácida y comparación con pectina cítrica rápida de alto metoxilo comercial.

Figura 10. Obtención de pectina de cáscara de piña para análisis fisicoquímico.



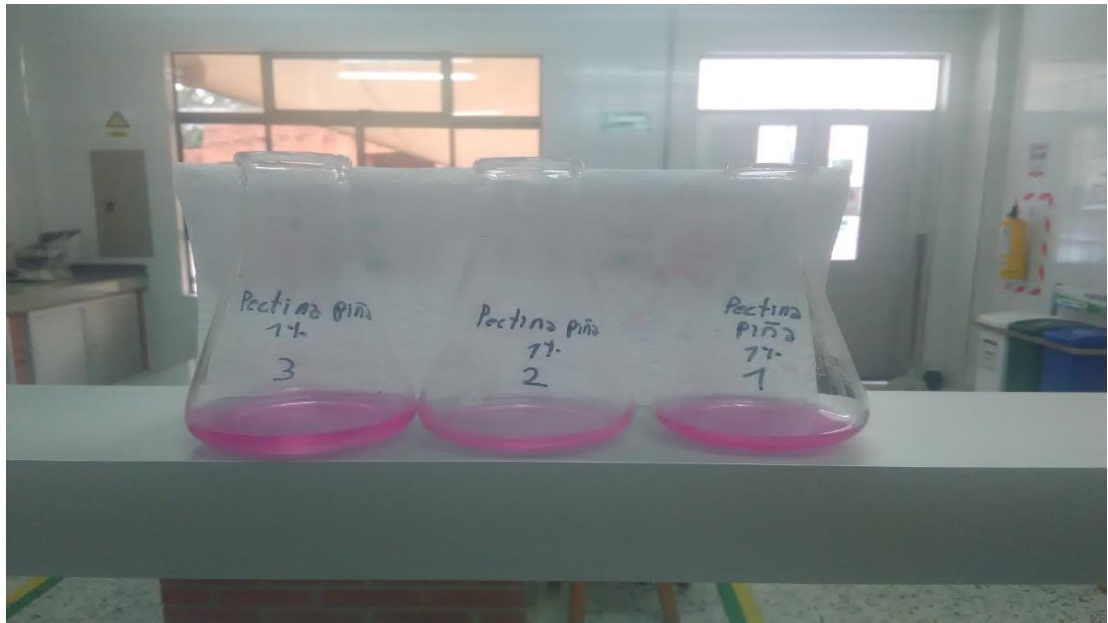
Fuente. Elaboración propia

Figura 11. Grado de esterificación de pectina cítrica comercial.



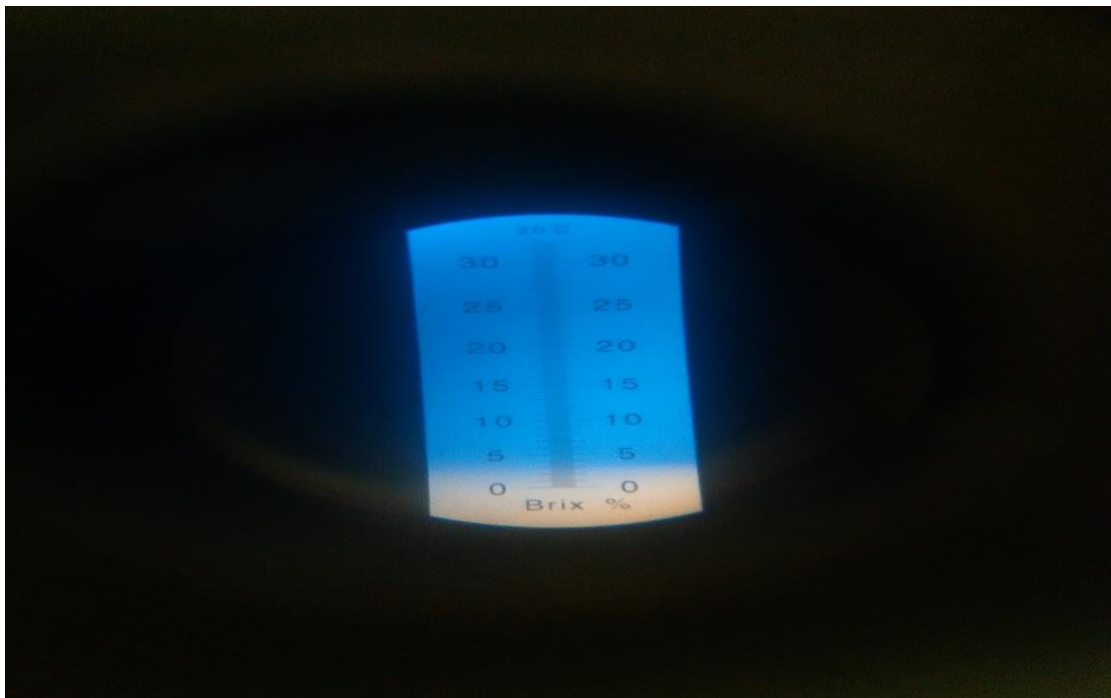
Fuente. Elaboración propia

Figura 12. Grado de esterificación de pectina obtenida de cáscara de piña.



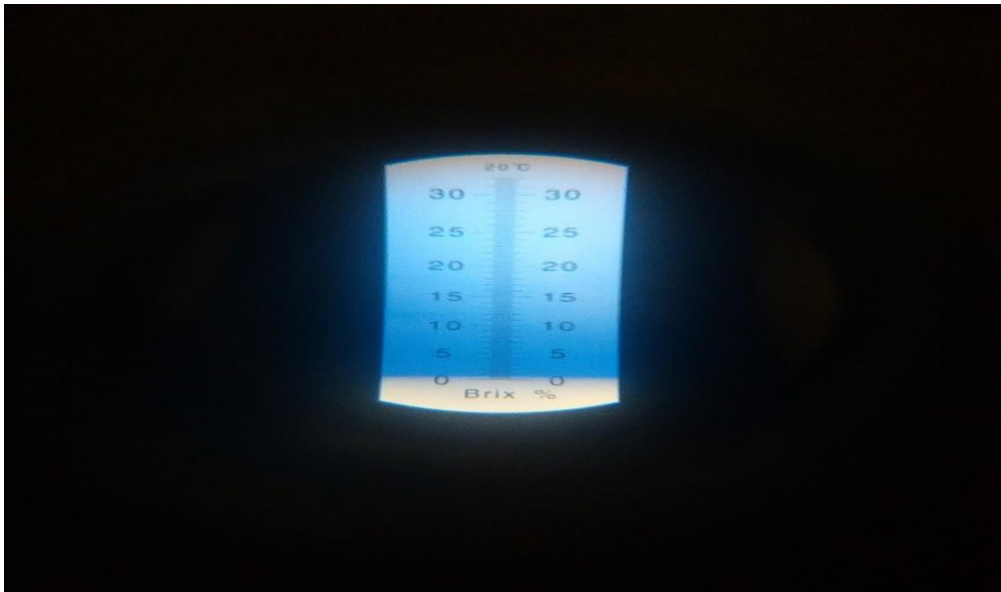
Fuente. Elaboración propia

Figura 13. Grados Brix pectina comercial



Fuente. Elaboración propia

Figura 14. Grados Brix pectina obtenida de cáscara de piña



Fuente. Elaboración propia

Figura 15. Determinación de Acidez titulable



Fuente. Elaboración propia

Figura 16 Determinación de viscosidad de solución 2% de pectina cítrica comercial y extraída de caracará de piña



Fuente. Elaboración propia

BIBLOGRAFIA

- Acevedo Berger, V. and Ramírez Diaz, D. (2011). Analisis técnico y económico de la pectina a partir de la cascara de naranja (*Citrus sinensis*). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10819/1336>
- Alvarez Bazurto, G. A., & Ortiz Paredes, S. M. (2016). Aprovechamiento de los residuos agrícolas de la piña (*ananas comosus*) para la obtención de una bebida fermentada y papel artesanal. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17921>
- AOAC Official Method 942.15. (2005). Acidity (Titrable) of Fruit Products. Official method of Analysis of AOAC International, ed. 18, Cap. 37, p.10. Recuperado de https://www.academia.edu/7757120/DETERMINACION_DE_ACIDEZ_TOTAL_EN_PRODUCTOS_DE_FRUTAS_Mtodo_potenciometrico_Seccion_Quimica_de_Alimentos_y_Nutricion
- Arellano, G., & Hernandez, M. A. (2013). Evaluacion del uso de la pectina extraida del procesamiento de piña y nispero en la preparacion de mermeladas. Venezuela: Universidad Rafael Urdaneta. Recuperado de <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2101-13-06180.pdf>
- Aza Espinosa, M. and Méndez Arellano, M. (2011). Extracción de pectina de nopal (*opuntia ficus indica*) por medio ácido aplicando dos niveles de temperatura, tiempo y estados de madurez. Repositorio.utn.edu.ec. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/743>.
- Badui, S. (2011). Química de los alimentos. Pearson Educación de México S.A. de C.V.
- Baltazar Flores, R., Carbajal Mariños, D., Baca Rodriguez, N., & Salvador Rodriguez, D. (2013). Optimización de las condiciones de extracción de pectina a partir decáscara de limón francés (*Citrus medica*) utilizando la metodología de superficie de respuesta. *Agroindustrial Science*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.17268/agroind.science.2013.02.01>
- Castañeda, P. (2003). Manual técnico, Seminario sobre Producción y Manejo post cosecha de la piña para la Exportación. 9 a11 de diciembre. San Salvador

EL SALVADOR. Recuperado de <https://ebookcentral-proquest-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/lib/unadsp/reader.action?docID=3161544>

- Cerrato Nolasco, I. G. (2013). Manual de Producción de Piña. Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario. Honduras. Recuperado de <https://docplayer.es/72642565-Manual-de-produccion-de-pina.html>
- Cerón-Salazar, I., & Cardona-Alzate, C. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 65–86. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=zbh&AN=74484984&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Chasquibol Silva, N., Arroyo Benites, E., & Morales Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, 175-199. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428492010>
- Contreras Tamani, J. D., & Tamani Murayari, L. (2016). Evaluación de la composición bromatológica y su capacidad antioxidante de la *ananas comosus* (piña) en las variedades de cayena liza y lorenza. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Recuperado de <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/UNAP/4590>
- Devia Pineda, J. E. (2003). Proceso para producir pectinas cítricas. *Universidad EAFIT*. Recuperado de <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/918/823>
- Einhorn-Stoll, U., Kastner, H., Urbisch, A., Kroh, L., & Drusch, S. (2018). Thermal degradation of citrus pectin in low-moisture environment - Influence of acidic and alkaline pre-treatment. *Food Hydrocolloids*, 86, 104-115. doi: 10.1016/j.foodhyd.2018.02.030
- Gamboa, M. (2009). Aprovechamiento de los residuos obtenidos del proceso de despulpado del mango, de las variedades Smith, Tommy Atkins, Haden y Bocado como materias primas para la obtención de pectina (tesis postgrado). Puerto Cruz. Universidad de Oriente. Recuperado de <http://ri2.bib.udo.edu.ve/bitstream/123456789/1133/2/PGIQ009G30.pdf>

- Garzón Cerrato, J. (2016). Establecimiento y manejo de un cultivo de piña en la sede de la asociación de ingenieros agrónomos del llano en Villavicencio (trabajo de pregrado). Universidad de los Llanos, Villavicencio pp.51-52. Recuperado de <http://repositorio.unillanos.edu.co/jspui/bitstream/001/341/1/Establecimiento%20y%20manejo%20de%20un%20cultivo%20de%20pi%C3%B1a.pdf>.
- Gloria E. Guerrero. (2017). Implementación de un método de extracción de pectina obtenida del subproducto agroindustrial cascarilla de cacao. *Temas Agrarios*. Página 86. Recuperado de <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.919>
- López Camelo, A. (2003). *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/006/y4893s/y4893s00.htm>
- López Ruiz, F. F., Egea Gonzalez, I., & Laiz, I. (s.f.). (2017). Prácticas de Mecánica de Fluidos. Departamento de física aplicada Universidad de Cadiz. recuperado de https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/19387/Practicas_MFluidos.pdf?sequence=1
- Methacanon, P., Krongsin, J., & Gamonpilas, C. (2014). Pomelo (*Citrus maxima*) pectin: Effects of extraction parameters and its properties. *Food Hydrocolloids*, 383-391. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.06.018>
- Morazán, F. (2010). Manual del cultivo de la piña. Managua: Escuela obrera campesina internacional. Recuperado de <https://es.slideshare.net/ArnoldSaulHernandez/manual-cultivo-pina>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). Participación departamental en la producción y en el área cosechada. Minagricultura Recuperado de <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=2>
- Parichat, C., & Jurairat, N. (2017). Physicochemical and powder characteristics of various citrus pectins and their application for oral pharmaceutical tablets. *Carbohydrate Polymers*, 25-31. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861717306860>
- Rivera Giraldo, R. and Salgado, D. (2017). Sistematización de las técnicas ancestrales empleadas en la siembra y cultivo de la piña en el municipio de

Paratebueno (proyecto de pregrado).Uniminuto, Villavicencio. Recuperado de https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/5766/TCG_RiveraGaliendoRobert_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Saavedra, J. (2014). Aprovechamiento residuos biomasa de producción de piña (*Ananas Comosus*) en el municipio de Aguazul Casanare. Academia.edu. Recuperado de http://www.academia.edu/22695998/APROVECHAMIENTO_RESIDUOS_BIOMASA_DE_PRODUCCION_DE_PI%C3%91A_ANANAS_COMOSUS_EN_EL_MUNICIPIO_DE_AGUAZUL_CASANARE
- Seixas, F., Fukuda, D., Turbiani, F., Garcia, P., Petkowicz, C., Jagadevan, S. and Gimenes, M. (2014). Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food Hydrocolloids*, 38, pp.186-192. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X13003858>
- Sharman, N., Dhuldhoya, N., Merchant, S. and Merchant, U. 2006. An Overview on pectins. *Times food processing Journal*, June-July. India. 44-51. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43640774/pectin.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1549851285&Signature=qOYny5REleiqm2ijFOEe9jRkneE%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DAn_Overview_on_Pectins.pdf
- Urango Anaya, K. J., Ortega Quintana, F. A., Velez Hernandez, G., & Perez Sierra, O. A. (2018). Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando Microondas. *Universidad de Córdoba*. 129-136. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100129>