

**EFFECTO DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN EN LA EXTRACCIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DE PECTINA, A PARTIR DEL ALBEDO DE NARANJA
(*Citrus sinensis* L. Osbeck) Y LIMÓN (*Citrus limon* L. Osbeck)**

EDITH JOHANA MORENO BEJARANO

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA.
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, 2019**

**EFFECTO DEL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN EN LA EXTRACCIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DE PECTINA, A PARTIR DEL ALBEDO DE NARANJA
(*Citrus sinensis* L. Osbeck) Y LIMÓN (*Citrus limon* L. Osbeck)**

EDITH JOHANA MORENO BEJARANO

Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Químico

Director:

ERIK GERMAN YANZA HURTADO

Ingeniero, MSc.

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA.
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA.
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA.**

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA, 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradecerle a Dios por la compañía que me dio en todos los momentos y las decisiones que tuve que tomar, mantenerme constante y perseverante, renovar mis fuerzas cuando creía que no podía continuar, motivar mi espíritu para emprender y luchar por alcanzar los objetivos que se me plantearon a lo largo de mi proceso de formación.

Agradecerle a Dios por mi abuela María Claudina Rivas Murillo porque, aunque no estaba presente como hubiera querido su compañía no me faltó.

Agradecerle a Dios por contar con el apoyo incondicional de mis tíos: Vicente De Jesús Moreno Rivas y Diana Victoria Moreno Moreno por contribuir de todas las formas posible para que lograra llegar hasta este escalón de mi vida, avivando mi esperanza e impulsándome para lograr las metas trazadas.

Agradecerle a Dios por mi madre Adalgiza Bejarano Rentería quien me acompañó en mi proceso cuando más lo necesitaba y alimentó mis ganas de seguir hacia adelante.

Agradecerle a Dios por mi Director de tesis Erik German Yanza Hurtado por todos los momentos en que con paciencia me corrigió, guio, aconsejó, y motivó en mi travesía por llevar a cabo el cumplimiento del trabajo planteado, por el apoyo y la inspiración en los momentos de cansancio e incertidumbre.

Agradecerle a Dios por todas esas personas que puso en mi camino en el transcurso del tiempo, mis compañeros de estudio, los profesores, a aquellas personas que solo cruce palabras en ocasiones y me alentaron, a todos mis familiares especialmente a Diana Darlevi Moreno Moreno, A la señora Delis y Carmen, a la señora Mariela, a Claudia Nathaly De La Rosa Arenas y de una manera muy especial a Erwin De La Rosa Arenas.

“Solo Dios le da sentido a la vida, por lo que el sufrimiento bien encaminado conduce a la felicidad”

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.1 Contextualización del problema	10
1.2 Formulación del problema de investigación	13
1.3 Objetivos de la investigación	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
1.4 Justificación de la investigación	14
2. MARCO TEÓRICO	16
2.1 Antecedentes de la investigación	16
2.1.1 Trabajos académicos a nivel nacional	16
2.1.2 Trabajos académicos a nivel internacional	19
2.2 Marco conceptual	23
2.2.1 Concepto de pectina	23
2.2.2 Origen de la pectina	24
2.2.3 Características de las pectinas	25
2.2.4 Propiedades de la pectina	26
2.2.5 Clasificación de las pectinas	26
2.2.6 Identificación de la pectina en el sistema numérico internacional de aditivos alimentarios	29
2.2.7 Rendimiento de extracción de las pectinas en frutos cítricos	30
2.2.8 Fuentes de pectina	30
2.2.9. Tipos de fruta según su contenido de pectina	31

2.2.10 Proceso de obtención de la pectina	32
2.2.11 Usos de la pectina.....	35
2.2.12 Métodos de extracción de fibra	37
2.3 Marco legal relacionado con la obtención de la pectina	39
3. MARCO METODOLÓGICO	41
3.1 Tipo de investigación	41
3.2 Método de Investigación.....	41
3.3 Población.....	42
3.4 Muestra	42
3.5 Escenario de la investigación.....	42
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.6.1 La observación	43
3.6.2 Análisis bibliográfico o de contenido	43
3.7 Técnicas de análisis de información.....	43
3.8 Sistemas de Variables.....	44
3.8.1 Definición conceptual de variable.....	44
3.8.2 Operacionalización de Variables.....	45
4. DESARROLLO	48
4.1 Equipos comúnmente utilizados en la extracción.....	48
4.1.1 Equipo extractor I: agitación mecánica	48
4.1.2 Equipo extractor II: ultrasonidos de potencia	48
4.2 Caracterización de los insumos experimentales	50
4.2.1 Subproducto de la naranja	50
4.2.1. Subproducto del limón.....	51
4.3 Procedimiento experimental.....	52
4.3.1 Obtención de la materia prima y pre-tratamiento	52
4.3.2 Hidrólisis ácida	54

4.3.3 Precipitación	54
4.3.4 Filtración y secado.....	55
4.3.5 Obtención de pectina implementando la sonicación	55
4.3.6 Caracterización de la pectina.....	56
5. ANALISIS DE RESULTADOS	62
CONCLUSIONES.....	81

ÍNDICE DE CUADROS	pp
Cuadro 1. Contenido de pectina en frutas cítricas	30
Cuadro 2. Contenido en sustancias pécticas en vegetales y tejidos vegetales	31
Cuadro 3. Técnicas y Procesamiento de Datos	43
Cuadro 4. Operacionalización de las variables	46
Cuadro 5. Cantidad de albedo pesado	52
Cuadro 6. Cantidad de albedo húmedo	53
Cuadro 7. Modo de operación del equipo de liofilización	53
Cuadro 8. Hidrólisis ácida	54
Cuadro 9. Cantidad de solvente empleado para la precipitación	55
Cuadro 10. Extracción por ultrasonido	55
Cuadro 11. Preparación de la solución patrón de AG	60
Cuadro 12. Peso del albedo liofilizado	62
Cuadro 13. Perdida d humedad en cada muestra	62
Cuadro 14. Cantidad de pectina obtenida en base húmeda en base seca	63
Cuadro 15. Albedo liofilizado	63
Cuadro 16. Pectina obtenida	64
Cuadro 17. Resultado de parámetros determinados en las muestras de limón	65
Cuadro 18. Resultados de los parámetros determinados en las muestras de naranja	65
Cuadro 19. Lectura del espectrofotómetro ultravioleta visible	67
Cuadro 20. Resultados obtenidos de ANOVA	68
Cuadro 21. Análisis de varianza de la muestra de limón	69
Cuadro 22. Resultados de la muestra de naranja	71
Cuadro 23. Análisis de la varianza para la muestra de naranja	72
Cuadro 24. Resultados de la muestra de limón	73
Cuadro 25. Análisis de la varianza para la muestra de limón	73
Cuadro 26. Resultado de la muestra de naranja	74
Cuadro 27. Análisis de la varianza para la muestra de naranja	75

Cuadro 28. Resumen de contrastes de hipótesis	76
Cuadro 29. Resumen de ANOVA	77
Cuadro 30. Ecuación cinética	78
Cuadro 31. Resultados de composición	79
Cuadro 32. Resultados de variables en cada corriente	79
Cuadro 33. Variables utilizadas para crear componente hipotético.	80

ÍNDICE DE FIGURAS	pp
Figura 1. División de Colombia por regiones geográficas	13
Figura 2. Estructura química de la pectina	24
Figura 3. Estructura molecular de la pectina HM	27
Figura 4. Estructura molecular de la pectina LMC	27
Figura 5. Estructura molecular de la pectina LMA	28
Figura 6. Clasificación comercial de la pectina	28
Figura 7. Flujograma del proceso de obtención de la pectina	33
Figura 8. Obtención de la pectina por el método de microondas	34
Figura 9. Equipo de extracción con agitación mecánica	48
Figura 10. Equipo de extracción con ultrasonidos de potencia	49
Figura 11. Procesadores de ultrasonido	49
Figura 12. Ultrasonicación	56
Figura 13. Color de la pectina extraída	64
Figura 14. Graficación de la curva patrón	67
Figura 15. Imagen de la simulación del proceso de hidrólisis ácida	79
Figura 16. Variables para determinar propiedades termodinámicas	80

INTRODUCCIÓN

La pectina es una fibra soluble en agua, que proviene como un subproducto de origen agrícola que se localiza principalmente en las cáscaras y en las paredes celulares de las frutas y vegetales denominada albedo, la cual es el mesocarpio de las frutas, de sabor amargo y de color blanco. La pectina tiene diversos usos en la industria farmacéutica, cosmética, alimentaria y otros.

La utilización como insumo de la pectina, la cual es un subproducto agrícola contenido en elementos orgánicos a desechar como en cáscaras y pieles de fruta; su obtención constituye una actividad altamente productiva, ya que eleva la calidad de diversos productos alimentarios y de cosmética al aumentar los volúmenes producidos y mejorar su presentación, minimizar el punto de ebullición en la cocción de ciertos alimentos con lo cual tiene una función ahorrativa de la energía; vehiculizar elementos farmacológicos activos y colaborar con el manejo de los efluentes industriales.

Es preciso destacar que, con la utilización de este desecho orgánico, puede elaborarse sustancias para manejar aguas industriales residuales; lo cual es un doble propósito de aprovechamiento y protección ambiental, al considerar un producto que minimiza el impacto ambiental de la posible contaminación de fuentes hídricas, considerada una de las más críticas por la afectación a la vida. Este fin constituye la relevancia práctica del presente trabajo.

La justificación teórica se encamina hacia el énfasis en uno de los procesos de obtención de la pectina, este es la de hidrólisis ácida, lo cual da una apertura a la mejora e incremento del conocimiento relacionada con este procedimiento.

A propósito que Colombia es productor de frutas, al punto que representa una actividad económica de importancia para sus cuentas nacionales, y que su tendencia es de crecimiento.; este trabajo plantea la siguiente formulación de problema de investigación: ¿Cómo es la obtención y caracterización de pectina a partir del albedo de naranja (*citrus sinensis*) y limón (*citrus limon*)?. Para dar respuesta se utilizan las modalidades de investigación relacionadas una investigación mixta, es decir, cualitativa-cuantitativa; un enfoque descriptivo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Contextualización del problema

La pectina es una fibra soluble en agua, que proviene como un subproducto de origen agrícola que se localiza principalmente en las cáscaras y en las paredes celulares de las frutas y vegetales denominada albedo, la cual es el mesocarpio de las frutas, de sabor amargo y de color blanco. En relación a la definición química de la pectina, QuimiNet (2011) argumenta sobre la pectina: “[...]es un polisacárido cuya principal función es ser el elemento enlazante de las paredes celulares de frutas y vegetales”. La pectina tiene diversos usos en la industria farmacéutica, cosmética, alimentaria y otros.

En el caso de la industria farmacéutica, la pectina es utilizada por sus extraordinarias propiedades de biocompatibilidad, gelificación y espesante; por lo cual es utilizada ampliamente como excipiente, es decir como sustancia que no influye farmacológicamente pero que contribuye a la conservación, preparación, o administración del fármaco, aportando la cualidad de dar forma farmacéutica como comprimidos, cápsulas o soluciones. Según Mamani Crispín, Ruiz Caro y Veiga (2012) “La pectina se encuentra inscrita en la FDA como un aditivo seguro sin límites de consumo diario, por lo que ha sido ampliamente utilizada como excipiente en la formulación de comprimidos matriciales, geles, cubiertas de formas farmacéuticas, etc.”

En relación a la industria cosmética, en virtud de sus propiedades estabilizantes y suavizantes, la pectina se utiliza en la elaboración de cremas, soluciones para el cuero cabelludo, desodorantes, pastas dentales, ungüentos, lociones de baño y champú. Por otra parte, por sus cualidades para la industria alimentaria, la pectina tiene una alta demanda por ser altamente esterificada; es de precisar tal como indica Méndez (2013):

Los ésteres se producen de la reacción que tiene lugar entre los ácidos carboxílicos y los alcoholes. Los ácidos carboxílicos sufren reacciones con los alcoholes cuando se encuentran en presencia de catalizadores de la reacción,

los cuales por lo general son un ácido fuerte, con la finalidad de formar un éster a través de la eliminación de una molécula de H₂O.

Es de destacar la importancia de la pectina como insumo en la industria alimentaria, enfatizando que tiene como objetivo de proveer alimentos procesados ante una presión demográfica mundial constante explicada por el crecimiento de la población y la extensión de las expectativas de vida. En este sentido, la industria alimentaria a partir de la adquisición de productos agrícolas, se encarga de: la gestión de acopio, realiza el procesamiento, modificación, preparación, preservación y envasado de productos alimenticios.

En este orden de ideas, el sector alimentario, constituye un sector muy dinámico de la economía de los países que la desarrollan, ya que alberga un importante empleo y contribución a la formación del Producto Interno Bruto (PIB). Los productos provenientes de la industria alimentaria, ofrecen cualidades sostenidas en el tiempo, lo cual caracteriza la oferta de alimentos procesados y son indicadores de su calidad; lo anterior significa que los productos alimenticios poseen atributos homogéneos o estandarizados; de tal manera que la textura, consistencia y sabor de un producto determinado, se mantiene en el tiempo y sus productos sustitutivos se circunscriben a características particulares que pueden ser obtenidas por agregados de pectina.

Así explicado de forma práctica, la pectina por unirse fácilmente a los ácidos de las frutas y ser muy soluble en agua, ofrece añadidos, como: (a) otorga volumen; (b) es espesante; y (c) reduce en un 50% el punto de ebullición. De tal manera que la pectina, es utilizada de forma especial en la elaboración de confitería en la preparación de una gran variedad de productos como: la jaleas, mermeladas, rellenos y otros confites. Otros usos de la pectina, se refiere a su uso en la elaboración de productos espumantes, plásticos, como elementos aglutinantes y de clarificación para la absorción de desechos industriales líquidos.

Por lo anteriormente explicado, queda claro que la utilización como insumo de la pectina, la cual es un subproducto agrícola contenido en elementos orgánicos a desechar como en cáscaras y pieles de fruta; su obtención constituye una actividad altamente productiva, ya que eleva la calidad de diversos productos

alimentarios y de cosmética al aumentar los volúmenes producidos y mejorar su presentación, minimizar el punto de ebullición en la cocción de ciertos alimentos con lo cual tiene una función ahorrativa de la energía; vehiculizar elementos farmacológicos activos y colaborar con el manejo de los efluentes industriales.

A propósito que Colombia es productor de frutas, señala la importancia de este sector de producción Colprensa (2017), al argumentar:

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Colombia es el tercer país latinoamericano con mayor número de hectáreas cultivadas en frutales. [...] la producción hortifrutícola ha venido creciendo en los últimos años pasando de 5,6 billones de pesos en 2013 a 7,2billones en 2016 y el volumen producido ha subido 45% en el último año [...]

De lo anterior se desprende que la producción de frutas en Colombia es una actividad económica de importancia para sus cuentas nacionales, y que su tendencia es de crecimiento. En relación a los tipos de frutas, Vallejo (2018), indica:

El Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt reseña la existencia de por lo menos 400 frutos o semillas nativas en el país. [...] Al explorar más en este tema de la agricultura del país, nacen de las regiones un mercado de frutas propias de climas fríos, templados y calientes, montañas y llanuras; de cultivos endémicos y no tanto, llenas de beneficios para la salud y que se convierten en ingredientes de platos [...]

De forma específica, la producción de naranjas y limones en Colombia, se localiza en:

1. La región Orinoquia, localizada al este de la cordillera Oriental, hasta el río Orinoco.
2. La región Andina conformada por los tres brazos en los que se divide la Cordillera de Los Andes.

Se muestra la localización de las regiones de Colombia donde se produce en forma mayoritaria las naranjas y limones, en la Figura 1. En virtud de lo descrito, se considera la obtención de la pectina a partir de las mencionadas frutas.

Figura 1. División de Colombia por regiones geográficas



Fuente: Tomado de Seo negativo (2018)

1.2 Formulación del problema de investigación

Con base a la situación descrita anteriormente, se plantea la siguiente formulación de problema de investigación: ¿Cómo es la obtención y caracterización de pectina a partir del albedo de naranja (*citrus sinensis*) y limón (*citrus limon*)? Para dar respuesta a esta interrogante, se hace la siguiente sistematización de la investigación:

¿Cuáles son las características de la pectina a partir de su obtención del albedo de naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus limon*)?

¿En qué consiste el proceso de hidrólisis ácida obtenido a partir de la cinética del ácido galacturónico?

¿Cómo es la cinética de la degradación del ácido galacturónico a partir de la pectina obtenida proveniente de la naranja y el limón?

¿Cómo es la simulación del proceso de hidrólisis ácida obtenido a partir de la cinética del ácido galacturónico?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Analizar el efecto de la liofilización en el proceso de hidrólisis ácida en la obtención y caracterización de pectina a partir del albedo de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) y limón (*Citrus limon* L. Osbeck).

1.3.2 Objetivos específicos

- Indicar las características de la pectina, implementando el proceso de liofilización en su obtención, a partir del albedo de naranja (*Citrus sinensis* L. Osbeck) y limón (*Citrus limon* L. Osbeck) para determinar cuál es el más relevante.

- Desarrollar la cinética de la degradación del ácido galacturónico a partir de la pectina obtenida.

- Simular el proceso de hidrólisis ácida obtenido a partir de la cinética del ácido galacturónico.

1.4 Justificación de la investigación

Este trabajo se justifica en virtud de promover la obtención de un insumo derivado de los desechos orgánicos de la fruta, con diversidad de usos como lo

es la pectina. A propósito que Colombia potencia su actividad agrícola, y ha verificado en los últimos años una tendencia de crecimiento, el aprovechamiento de la pectina puede complementar los rendimientos económicos en virtud que es una sustancia utilizada en la industria farmacéutica, cosmética, alimentaria y para otros fines industriales; este es la justificación social derivada de un beneficio económico, relacionado con el tema de la pectina.

Es preciso destacar que, con la utilización de este desecho orgánico, puede elaborarse sustancias para manejar aguas industriales residuales; lo cual es un doble propósito de aprovechamiento y protección ambiental, al considerar un producto que minimiza el impacto ambiental de la posible contaminación de fuentes hídricas, considerada una de las más críticas por la afectación a la vida. Este fin constituye la relevancia práctica del presente trabajo.

La justificación teórica se encamina hacia el énfasis en uno de los procesos de obtención de la pectina, este es la de hidrólisis ácida, lo cual da una apertura a la mejora e incremento del conocimiento relacionada con este procedimiento.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Para realizar esta investigación, se han considerado diversos trabajos académicos, relacionados con el tema, en cuanto a los diferentes métodos utilizados para la obtención de la pectina a partir de diversas frutas, la importancia de la pectina como insumo para la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética y otros usos industriales; para ello se discriminaron los aportes en dos partes, la primera referida a trabajos nacionales, es decir en Colombia e investigaciones dentro del ámbito internacional.

2.1.1 Trabajos académicos a nivel nacional

El primer trabajo a considerar a nivel nacional es el realizado por Urango Anaya, Ortega Quintana, Vélez Hernández y Pérez Sierra (2018); titulado: “Extracción rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (*passiflora edulis flavicarpa*) empleando microondas”; argumentan los investigadores que muestran los resultados de rendimiento del proceso de extracción de pectina de la cáscara del fruto de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) asistida por microondas y el contenido de metoxilo de la pectina obtenida.

En relación a los aspectos metodológicos de su trabajo, utilizaron un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 33 por triplicado, con los siguientes factores: tiempo de extracción, potencia del microondas y concentración de la solución de HCl. Se realizó un análisis de varianza y un test de comparación de medias con un nivel de significancia del 5%.

Como conclusión, señalan los investigadores que las condiciones que arrojaron el mayor rendimiento en pectina (68,76%) en base húmeda fueron: tiempo de 100 segundos, potencia de 1000 vatios y concentración de solución de HCl de 0,24 N. Para este tratamiento, el porcentaje del contenido de metoxilo de la pectina obtenida fue del 6,86% (p/p), clasificando a la pectina como de bajo

metoxilo. El aporte de este trabajo es la consideración de un método distinto al proceso de hidrólisis ácida, que trata este trabajo.

Otro trabajo considerado, es el realizado por Flórez Montes y Rojas González (2018), titulado “Aprovechamiento potencial de residuos de la agroindustria caldense según su composición estructural”. Argumentan los autores que tuvieron como objetivo la identificación de los principales residuos de la agroindustria en el Departamento de Caldas, la caracterización estructural de estos y proponer un aprovechamiento potencial.

La caracterización estructural se llevó a cabo mediante la determinación de los componentes estructurales (celulosa, hemicelulosa y lignina) y no estructurales (extractivos y cenizas) de cada uno de los residuos agroindustriales. Teniendo en cuenta estos resultados, se identifican las aplicaciones potenciales de los residuos estudiados según sus porcentajes de celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos.

Los resultados indican que las semillas de naranja y mandarina, el vástago de tomate de árbol y las cáscaras de mango, guanábana, maracuyá y plátano tienen un aprovechamiento potencial en la industria del papel, textil, alimenticia y azúcares fermentables, en la fabricación de biomateriales y en la obtención de éter y ésteres de celulosa, debido al porcentaje de celulosa presente en éstos. Los residuos con porcentajes importantes de hemicelulosa, como las cáscaras de piña y tomate de árbol y las semillas de tomate de árbol, pueden ser utilizadas en la industria química, alimenticia y farmacéutica.

Las cáscaras de mango, guanábana y lulo, y la borra de café presentan altos contenidos de lignina por lo que representa una fuente potencial de compuestos como la vainillina y los lignosulfonatos, que tienen aplicaciones en la industria alimenticia y química. Las cáscaras de maracuyá, piña y mango tienen aplicaciones en la industria alimenticia y farmacéutica debido a su contenido de extractivos. El aporte de este trabajo, consiste en profundizar sobre las sustancias utilizables de los desechos orgánicos derivados de la fruta.

Otro trabajo que se tomó en cuenta el trabajo realizado por Ortiz Quintero y Anzola Velasco (2018), titulado: “Estudio del efecto fisiológico del consumo de arepas enriquecidas con pectina extraída de la cáscara de curuba (*Passiflora*

tripartita var. mollissima)”; argumentan las investigadoras: que evaluaron el efecto fisiológico del consumo de arepas de maíz enriquecidas con 10% (p/p) de pectina extraída de cáscara de curuba sobre los niveles séricos de glucosa y lípidos en adultos voluntarios. La pectina se extrajo con ácido clorhídrico y se precipitó con etanol del 96% (v/v).

En primer lugar, los voluntarios consumieron arepa sin pectina por siete días; después, arepa con 10% (p/p) de pectina cítrica comercial por 20 días y, finalmente, arepa con 10% de pectina de curuba por 20 días. Al mismo tiempo, se realizó un análisis sensorial de aceptación. Los resultados mostraron que, al consumir arepa con pectina de curuba, los niveles séricos de glucosa disminuyeron significativamente (5,88% ($p = 0,023$)), mientras que el perfil lipídico no se afectó.

La arepa con pectina de curuba mostró mayor porcentaje de fibra dietética soluble, insoluble y total, así como menor porcentaje de carbohidratos disponibles, respecto a las otras arepas analizadas. El panel sensorial dictaminó baja aceptación en sabor y textura para las arepas con pectina cítrica comercial y con pectina de curuba. Se concluyó que la pectina de curuba puede aprovecharse para la formulación de arepas ya que ofrece a los consumidores un alimento benéfico para reducir los niveles de glucosa en la sangre. El aporte de este trabajo consiste en la consideración del uso de la pectina en el área farmacéutica, asociado con un plato típico para los países latinoamericanos: Colombia y Venezuela.

Los investigadores García Montoya y Penagos Gómez (2011), realizaron el trabajo titulado: “El entorno comercial de la pectina en la industria alimentaria antioqueña”; argumentan que los residuos del proceso productivo del café (el mucilago y la pulpa), se pueden utilizar para extraer pectina; un insumo industrial que hasta el momento no se produce en Colombia y tiene que ser importado en su totalidad. Se realizó este proyecto para ayudar a Ambiental Mente a caracterizar el entorno comercial de la pectina en la industria alimentaria en el departamento de Antioquia.

A partir de investigaciones en fuentes secundarias, trabajo de campo en supermercados y entrevistas a las empresas que están directamente

relacionadas con la pectina y su canal de distribución se vio una tendencia positiva a la disposición de comprar o comercializar por parte de los empresarios una pectina nacional, con la condición de que esta cumpla con estándares de calidad y funcionalidades que el área de I+D de cada empresa consumidora exige. El aporte de este trabajo lo constituye la consideración de una fruta no cítrica, para la obtención de la pectina.

Finalmente se consideró el trabajo de Cerón Salazar y Cardona Álzate (2010), titulado: "Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja". En este trabajo se presentó la extracción de aceite esencial y pectina a partir de la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) como un proceso integral.

Los investigadores realizaron el proceso de extracción utilizando un simulador comercial adaptándose al proceso real. Se realizaron pruebas experimentales con un kilogramo de cáscara de naranja procesado a las mismas condiciones de la simulación con el fin de comparar los rendimientos obtenidos, logrando una concordancia aceptable. Posteriormente se escaló el proceso a una tonelada.

Como resultado no solo se demuestran las ventajas del proceso integral, sino también la posibilidad de su implementación a nivel industrial. Se concluye además que las técnicas de simulación son una herramienta poderosa que permite minimizar tiempo, costos y experimentación en el diseño de procesos como los de extracción de aceite esencial y pectina. El aporte de este trabajo lo constituye en la consideración de la pectina a nivel industrial.

2.1.2 Trabajos académicos a nivel internacional

En relación a los trabajos académicos realizados a nivel internacional, se revisó el realizado por Muñoz López, Urrea García, Jiménez Fernández, Rodríguez Jiménez y Luna Solano (2018), Titulado: "Efecto de las condiciones de liofilización en propiedades fisicoquímicas, contenido de pectina y capacidad de rehidratación de rodajas de ciruela ("*Spondias purpurea*" L.)".

La ciruela mexicana ("*Spondias purpurea*" L.) es originaria del sur de México y América Central, se clasifica como fruto exótico y es un alimento con potencial

de exportación por su contenido nutricional y sabor. Su comercialización es limitada porque se daña aceleradamente en post-cosecha. La liofilización es una alternativa para industrializar este fruto y prolongar su vida de anaquel; pero, la calidad de los productos liofilizados depende de las condiciones de operación.

El objetivo de este estudio fue evaluar las condiciones de liofilización en las propiedades fisicoquímicas, contenido de pectina y rehidratación de rodajas de ciruela ecotipo betabel y amarilla. El diseño experimental fue en arreglo factorial al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fue una muestra de ciruela de cada ecotipo. Las muestras se congelaron a -5 y -20 °C (Tc) y se liofilizaron a 0.05 y 0.1 mbar (Pr) en condiciones de laboratorio. Pr tuvo efecto significativo en el contenido de humedad en ambos ecotipos, con valores menores a 0.02 g H₂O g s s⁻¹. Tc afectó significativamente la actividad de agua. La luminosidad aumentó con respecto a la fruta fresca con el decremento de Tc. La liofilización no afectó significativamente el contenido de pectina.

La correlación entre Tc, Pr y rehidratación de las rodajas de ciruela betabel no fue significativa. Tc tuvo efecto significativo en las muestras rehidratadas (agua a 30 °C) en la ciruela amarilla, y debilitó la estructura de la matriz sólida. La liofilización es un método fiable para deshidratar ciruela, con calidad alta para rehidratación, adecuada para conservar y diversificar su consumo como bocadillos, agregada a cereales, yogur y productos de panadería. El aporte de este trabajo consiste en resaltar las ventajas del proceso de liofilización, el cual es un proceso utilizado en la obtención de la pectina a partir de la naranja y limón, que aquí se trata.

Se tomó en cuenta el trabajo de los investigadores Rascón Chu, Martínez López, Carvajal Millán, Martínez Robinson y Campa Mada (2015), en su trabajo titulado: "Gelificación iónica de pectina de bajo grado de esterificación extraída de manzanas inmaduras de raleo"; indican los autores: El raleo de frutos es una práctica común en los huertos de manzana (*Malus x domestica* Borkh.) para obtener frutos de mayor tamaño y promover el retorno de la floración.

Esta práctica genera manzanas inmaduras y de diámetro pequeño (10 a 40 mm) que son utilizadas ocasionalmente como alimento para ganado. La utilización de la manzana de raleo como fuente alternativa de pectina podría

incrementar la rentabilidad de los huertos y el desarrollo de nuevos procesos de transformación. La pectina es un polisacárido localizado en la pared celular de los tejidos vegetales, que se ha extraído de distintas fuentes y utilizado exitosamente en la industria alimentaria. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo extraer la pectina de manzanas de raleo de las variedades *Golden Delicious* (GD) y *RedChief Delicious* (RChD), y determinar las propiedades gelificantes del polisacárido. La pectina fue extraída mediante hidrólisis ácida controlada, con un rendimiento de 12 y 11 % (p/p) para GD y RChD, respectivamente. Las pectinas obtenidas fueron desesterificadas por vía alcalina y presentaron grados de esterificación de 35 % (GD) y 42 % (RChD).

Ambas pectinas formaron geles iónicos inducidos por calcio, con una elasticidad de 147 y 90 Pa para GD y RChD, respectivamente, a una concentración de polisacárido de 2 % (p/v). La pectina desesterificada de manzanas inmaduras de raleo presenta propiedades físico-químicas y gelificantes que podrían ser de interés para las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. El aporte de este trabajo consiste en el conocimiento de la obtención de la pectina, en frutas distintas a las cítricas.

Otra contribución es la realizada por Matos Chamorro y Chambilla Mamani (2010), con su trabajo: "Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria". El objetivo de esta revisión es destacar la importancia de la fibra, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria de alimentos. La fibra dietética es la fracción de la pared celular de las plantas compuestas por la lignina y polisacáridos no almidónicos, resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas del ser humano. Se clasifica en base a su solubilidad en agua como fibra soluble e insoluble. La fibra soluble contiene mayoritariamente pectinas, gomas y algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos) y la fibra insoluble contiene celulosa, lignina y algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos).

Las propiedades funcionales tecnológicas que presenta la fibra dietética como la capacidad de retención de agua y aceite, tienen efectos benéficos en los productos alimentarios y efectos fisiológicos en el organismo del ser humano. Su

consumo previene distintas enfermedades como el cáncer del colon, diabetes, enfermedades cardiovasculares, ayuda a la disminución del colesterol, etc. El contenido de fibra dietética se encuentra mayormente en las frutas y hortalizas así como en sus subproductos, como las cáscaras y hojas, las cuales pueden ser aprovechadas mediante procesos tecnológicos para la obtención de fibra dietética. El aporte de este trabajo consiste en la vinculación del uso de la pectina en la industria alimentaria al bienestar del individuo que la consume, en términos de salud.

Otro trabajo de consideración es el realizado por Chasquibol Silva, Arroyo Benites y Morales Gomero (2008), en su trabajo titulado: “Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana”; quienes argumentan que se determinó el análisis de pectina en varias especies frutales de la biodiversidad peruana de origen costeño, andino y amazónico.

La extracción y caracterización de las pectinas se realizó en los frutos del níspero de la sierra (*Nespilus germánica*) y de la granadilla (*Pasiflora ligularis*), que 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%), comprobado por espectrofotometría FT-IR, y alto peso molecular (10183,5 y 16366,96), respectivamente. Este proyecto de investigación ha sido desarrollado en el laboratorio de docimasia de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Lima y cuenta con la aprobación oficial del Instituto de Investigación Científica (IDIC). El aporte de este trabajo es la consideración de las frutas distintas, objeto de estudio, de este trabajo.

Finalmente, se consideró el trabajo realizado por Yuste Puigvert y Garza (2003), en su trabajo titulado: “Los geles de pectina y su aplicación en la industria alimentaria”, indican: Las pectinas son polisacáridos complejos de las plantas superiores. El ablandamiento de algunos frutos durante su maduración se debe, en parte, a las enzimas pectinolíticas pectinmetilesterasa y poligalacturonasa. La corteza de cítricos y el bagazo residual de la extracción del zumo de manzana son las principales fuentes de pectina comercial, la cual presenta grados muy diversos de metoxilación y polimerización. Las pectinas dan lugar a geles

termorreversibles en presencia de sacarosa a pH bajo (pectinas de alto metoxilo) o iones calcio (pectinas de bajo metoxilo).

Por su óptima capacidad de gelificación, la pectina es uno de los principales responsables de la textura de los productos vegetales y la viscosidad de sus zumos, y tiene un gran interés tecnológico para el sector de la alimentación. Se usa como agente gelificante, espesante, emulgente y estabilizante, en la elaboración de mermeladas, jaleas y confituras, frutas en conserva, productos de panadería y pastelería, bebidas y otros alimentos, porque les confiere las características reológicas, y también la turbidez, deseadas por el fabricante y el consumidor. También se utiliza como sustitutivo de grasas o azúcares en productos bajos en calorías. El aporte de este trabajo es el uso de la pectina en la industria alimentaria como sustitutivo de las grasas.

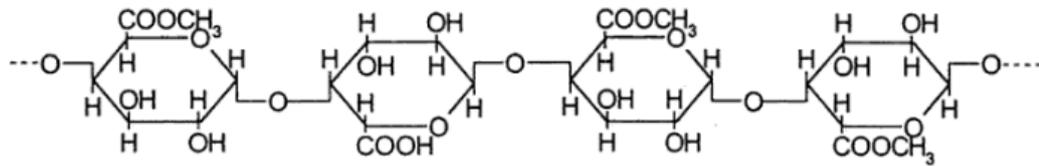
2.2 Marco conceptual

2.2.1 Concepto de pectina

Como concepto de pectina, se hace alusión a lo argumentado por Torres Basante (2006):

La pectina es el constituyente mayoritario de la lámina intermedia de los tejidos de las plantas y también se encuentra en la pared celular primaria. Incluyen una parte importante del material estructural de los tejidos blandos como el parénquima de las frutas tiernas. A las pectinas se las describe como polímeros lineales de ácido α -D-poligalacturónico unidos por enlaces (1 \rightarrow 4) con una determinada proporción de sus grupos de carboxilo esterificados con metanol como se observa en la figura 2. Sus pesos moleculares no se conocen con certeza, pero probablemente son de aproximadamente 100.000. (p. 27).

Figura 2. Estructura química de la pectina



Fuente: Tomado de Torres Basante (2006), p. 27

Otro concepto es el emitido por QuimiNet (2011): “Se puede definir a la pectina como una combinación de polímeros neutros con polímeros ácidos. Ambos tipos de polímeros tienen la característica de ser muy ramificados”.

2.2.2 Origen de la pectina

Acerca del origen de la pectina, Silvateam (s.f.) aporta: La pectina fue aislada por primera vez en 1825 por Henri Braconnot, pero su uso en la producción de confituras y mermeladas era ya conocido muchos siglos antes. De hecho, para producir confituras de buena calidad a partir de fruta que tenía un contenido bajo de pectina, se agregaban otros tipos de frutas en trozos, o extractos de las mismas, ricos en sustancias pécticas como, por ejemplo, los cítricos.

Durante las primeras fases de la industrialización los productores de frutas compraban como materia prima para extraer pectina los residuos secos de la elaboración de jugos de manzana. Luego, entre 1920 y 1930, los principales productores europeos pusieron a punto un nuevo proceso para la extracción de pectina de la cáscara de cítricos, previo secado.

Inicialmente la pectina se comercializaba como un extracto en forma líquida, pero en seguida se pasó a la versión en polvo, más fácil de transportar y almacenar. En los últimos años la producción de pectina se fue reubicando fuera de Europa, en áreas geográficas dedicadas a la producción de cítricos, como México y Brasil.

2.2.3 Características de las pectinas

Como características de las pectinas, en base a lo señalado por Regnault (1853), se pueden señalar las siguientes:

1. Existe naturalmente formada en los frutos maduros, pero se produce en los verdes cuando se someten a la acción del calor, pues su pectosa se transforma en pectina bajo la influencia de los ácidos de las sales calcáreas que contienen.
2. La pectina se puede obtener cociendo con agua ligeramente acidulada, pero es más fácilmente extraíble en frutos maduros.
3. Las pectinas contienen un pH óptimo para gelificar, se puede lograr su rápida gelificación a una temperatura de 85°C.
4. Para disolver la pectina en forma de sólidos solubles, su contenido no puede superar los 25°Brix (25 g de sólido disuelto por 100 g de disolución total). Es preciso señalar que el Brix es una unidad de cantidad que sirve para determinar el cociente total de materia seca disuelta en un líquido.
5. La pectina puede aportar condiciones estabilizantes, gelificantes y espesantes.
6. En presencia de la pectasa, la cual está presente en todos los vegetales, la pectina se transforma en un cuerpo gelatinoso insoluble en agua fría.

Por su parte, Silvateam (s.f.) aporta las siguientes características principales:

1. Solubilidad. La pectina tiene que ser disuelta completamente para asegurar su completa utilización y evitar la formación de un gel heterogéneo. La eventual formación de grumos durante la disolución de la pectina lleva a la pérdida del poder gelatinizante. El mejor método para preparar tal solución es premezclar la pectina con azúcar en relación de 1:3 y dispersarla, con agitación, en agua caliente (85-90°C) con un mixer de alta velocidad, manteniendo el contenido de sólidos solubles debajo del 20%. La pectina, como los otros agentes gelificantes, no se disuelve en el sistema si existen ya las condiciones de gelatinización.
2. Estabilidad. La pectina, para mantener inalteradas sus características, se debe conservar en un lugar fresco y seco. Temperaturas mayores respecto a la temperatura ambiente determinan una degradación de la pectina debido a una

reducción del peso molecular. El pH óptimo de la pectina está comprendido entre 2,8 y 4,7.

3. Viscosidad. Las soluciones de pectina presentan una viscosidad menor comparadas con aquella de otros espesantes naturales. La presencia de sales polivalentes (Ca^{++} y Mg^{++}) tiende a aumentar la viscosidad. En particular, elevadas concentraciones de sales pueden gelatinizar las soluciones de pectinas LM. En las soluciones que no poseen sales polivalentes, la viscosidad baja al aumentar la acidez.

2.2.4 Propiedades de la pectina

Las propiedades de la pectina, según QuimiNet (2011), son:

Tiene un peso molecular alto.

- Su grado de polimerización alcanza hasta las 800 unidades.
- El grado de esterificación de sus moléculas determina sus propiedades funcionales.
- Está presente en todas las plantas.
- A nivel comercial, la pectina se obtiene de la cáscara de frutas cítricas.
- Tiene una gran influencia en la estructura de las células vegetales.
- Tiene la capacidad de ser un efectivo estabilizante y gelificante, lo que permite su aprovechamiento en la industria alimenticia.

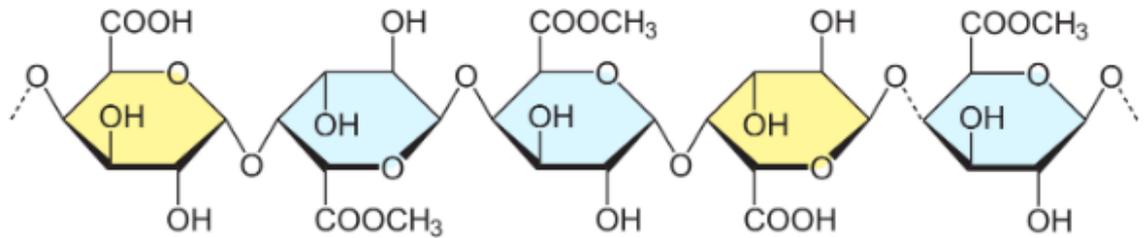
2.2.5 Clasificación de las pectinas

Silvateam (s.f), aporta dos tipos de clasificaciones: (a) en base a su grado de metoxilación (DM); y (b) su clasificación comercial.

a) Clasificación en base a su grado de metoxilación (DM), que es la relación entre los grupos metoxilados y aquellos ácidos libres presentes en la cadena molecular de la pectina:

1. Pectina de alto metoxilo (HM). Es la pectina, producida según un proceso de extracción normal, contiene más del 50% de los grupos metoxílicos. Su estructura molecular es como se muestra en la figura 3.

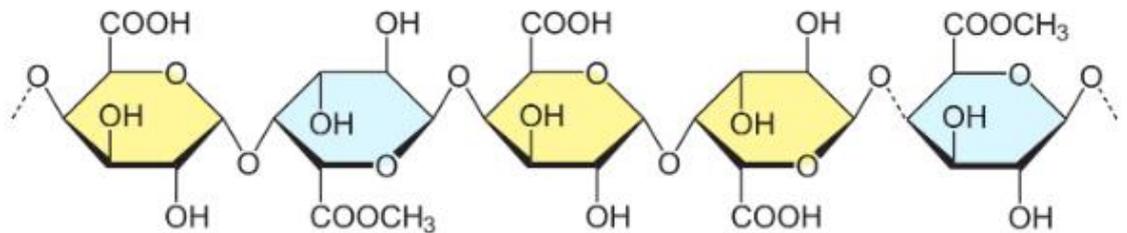
Figura 3. Estructura molecular de la pectina HM



Fuente: Tomado de Silcateam (s.f.)

2. Pectina de bajo metoxilo convencional (LMC). Son variaciones en el proceso productivo o bien un tratamiento ácido prolongado que contiene menos del 50% de los grupos metoxílicos. En la figura 4 se observa la estructura de la pectina de bajo metoxilo.

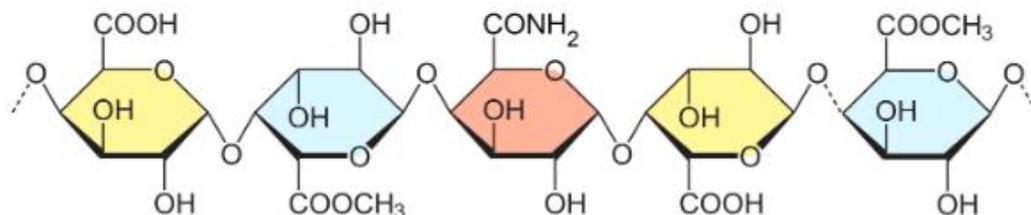
Figura 4. Estructura molecular de la pectina LMC



Fuente: Tomado de Silcateam (s.f.)

3. Pectina de bajo metoxilo amidada (LMA). Se obtiene bajo una hidrólisis blanda en ambiente alcalino con amoníaco, además de tener menos del 50% de grupos metoxílicos, contiene entre el 1 y el 25% de grupos amídicos. Su estructura molecular es como se ve en la figura 5.

Figura 5. Estructura molecular de la pectina LMA



Fuente: Tomado de Silcateam (s.f.)

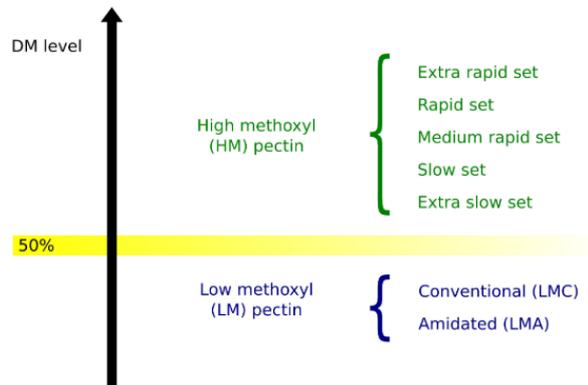
b) Clasificación comercial de la pectina

1. Pectina de alto metoxilo (HM). El grado de metoxilación influye en las propiedades de la pectina, en particular la solubilidad y las condiciones de gelatinización. Las pectinas HM, de hecho, pueden formar un gel en sistemas acuosos con elevado contenido de sólidos solubles y bajos valores de pH.

2. Pectina de bajo metoxilo (LM). Las pectinas LM se caracterizan por la capacidad de formar un gel solo en presencia de una sal polivalente, normalmente iones Ca⁺⁺, también en sistemas con valores bajísimos de sólidos solubles y un rango de pH muy amplio.

En la figura 6 se puede apreciar un resumen de la clasificación de este tipo de pectina.

Figura 6. Clasificación comercial de la pectina



Fuente: Tomado de Silcateam (s.f.)

2.2.6 Identificación de la pectina en el sistema numérico internacional de aditivos alimentarios

Argumenta la FAO (1995):

El Sistema Internacional de Numeración de Aditivos Alimentarios (SIN) ha sido elaborado por el Comité del Codex sobre Aditivos Alimentarios y Contaminantes de los Alimentos (CCFAC) para establecer un sistema numérico internacional acordado de identificación de los aditivos alimentarios en las listas de ingredientes como alternativa a la declaración del nombre específico, que suele ser largo y de naturaleza química compleja. Se basa en el sistema restringido ya introducido con éxito en la CEE. (p. 67)

Por su parte, Silvateam (s.f.) realiza una especificación de la identificación de la pectina en el sistema numérico de aditivos alimentarios, al indicar: “La pectina se identifica según el sistema numérico europeo de los aditivos en E440(i) para las pectinas de alto metoxilo y de bajo metoxilo convencionales y en E440(ii) para las pectinas de bajo metoxilo amidadas”.

2.2.7 Rendimiento de extracción de las pectinas en frutos cítricos

Para Silvateam (s.f.) la fruta y la verdura contienen concentraciones de pectina variables en función de la especie vegetal. El máximo rendimiento de extracción se obtiene un poco antes de la maduración de la fruta y varía de año en año en base a las diferentes condiciones climáticas y ambientales.

La tipología y la calidad de la fruta usada, la época en que se realiza la cosecha y la degradación enzimática son algunos de los factores que afectan las características químico físicas de la pectina. La siguiente clasificación se basa en la cantidad media de pectina contenida en las diversas tipologías de fruta fresca:

Cuadro 1

Contenido de pectina en frutas cítricas

Contenido de pectina	Frutas
Contenido de pectina elevado	Limas, limón, naranja y manzana
Contenido de pectina medio	Damasco y mora
Contenido de pectina bajo	Ciruela, durazno y ananá

Fuente: Tomado de Tomado de Silcateam (s.f.)

Indica el mencionado autor, que en los cítricos (naranja, limón y limas) la pectina está contenida en el albedo, el estrato blanco interior de la cáscara que circundan las vesículas que contienen el jugo y las lamelas. La cáscara y el albedo, residuales de la preparación de jugos y bebidas a base de jugos, son usados tal cual, previo lavado, o secados para la extracción de la pectina.

2.2.8 Fuentes de pectina

Algunas fuentes de pectina son descritas por Pagan i Gilabert (2001), quien aporta el contenido de pectina asociado a diversos frutas y vegetales:

Cuadro 2

Contenido en sustancias pécticas en vegetales y tejidos vegetales

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

Fuente: Tomado de Pagan i Gilabert (2001), p. 15.

2.2.9. Tipos de fruta según su contenido de pectina

Los tipos de frutas según su contenido de pectina, según Clemente (2012) son:

1. Frutas con gran cantidad de pectina: Principalmente manzanas, pero también limones, naranjas, mandarinas, arándanos, grosellas, uvas y membrillos, entre otros

2. Frutas con cantidad de pectina media: Manzanas muy maduras, moras, cerezas, pomelo, uvas, higos, peras, piña y naranjas muy dulces.

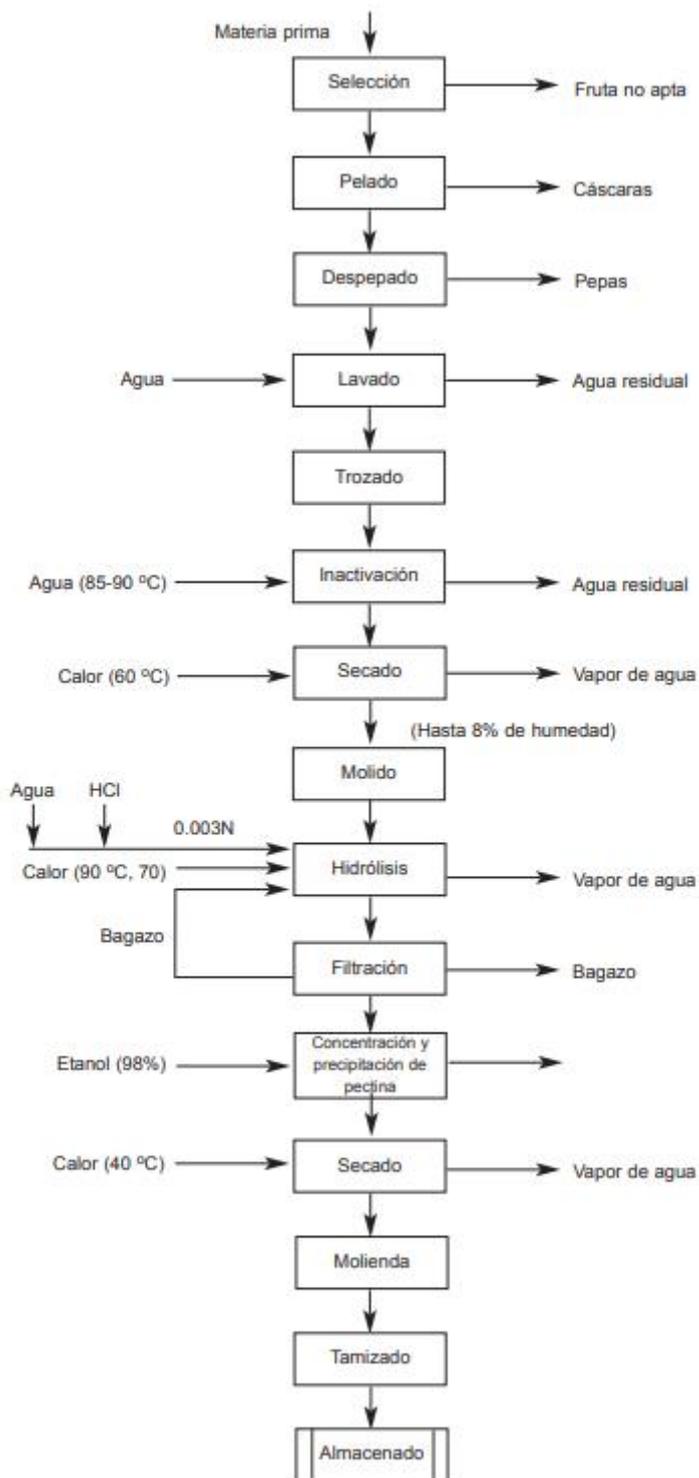
3. Frutas con escasa pectina: Melocotones, albaricoques, nectarinas, fresas y frambuesas, se debe de añadir pectina siempre si queremos una mermelada espesa.

2.2.10 Proceso de obtención de la pectina

El proceso de extracción y acondicionamiento final de la pectina se realiza en varias etapas. Se debe utilizar HCl 0.003 N (pH 2.5) como solución extractiva, en un sistema bajo reflujo con agitación constante, hasta alcanzar una temperatura de 90°C durante 75 minutos. Se filtra en una tela de linillo, se exprime manualmente y de inmediato se enfría para minimizar la degradación por el calor.

A la solución péctica obtenida, se debe agregar etanol al 98% para precipitar la pectina, dejarla en reposo por una hora. La pectina flotante se filtra, lavada con etanol de 95° y secada a 40°C hasta obtener peso constante. A continuación, se muestra el flujograma del proceso.

Figura 7. Flujoograma del proceso de obtención de la pectina



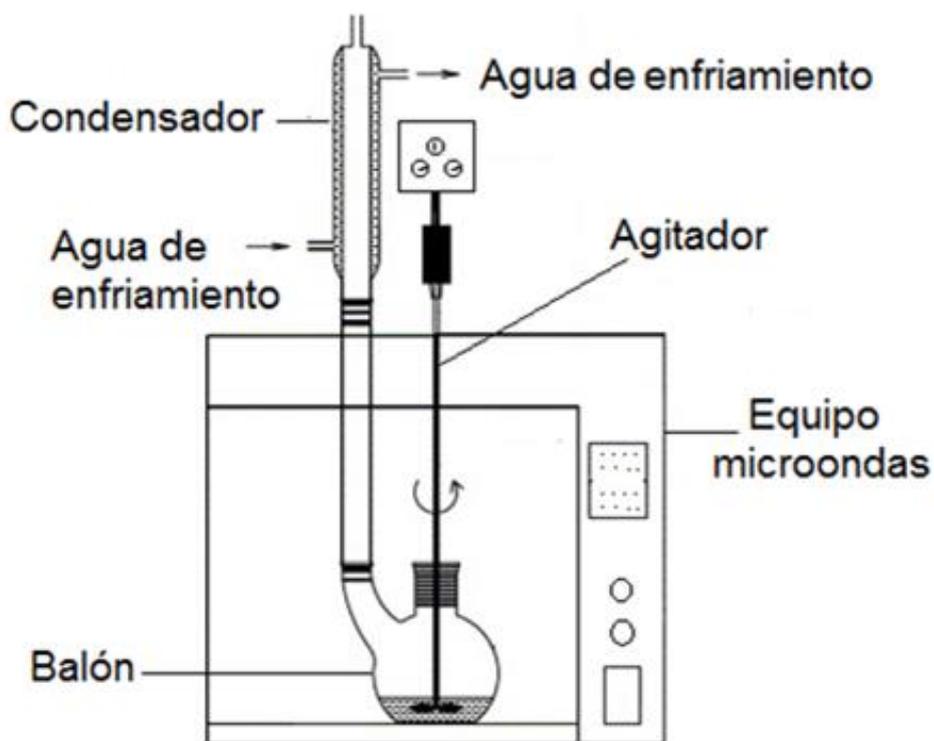
Fuente: Tomado de Chasquibol Silva, N.; Arroyo Benites, E. y Morales Gómero, J. C. (2008), p.187.

Otro proceso de obtención de la pectina por el método no convencional, con base al microondas, indicado por Urango Anaya, Ortega Quintana, Vélez Hernández y Pérez Sierra (2018), así:

[...]la extracción asistida por microondas es un método recientemente utilizado con el propósito de liberar la pectina a partir de diversas materias primas y con su utilización se han encontrado resultados bastante deseables en el proceso de extracción de la pectina como la reducción de los tiempos de extracción, altos rendimientos en pectina y buena calidad del producto obtenido.

El mencionado método, se esquematiza de la forma siguiente:

Figura 8. Obtención de la pectina por el método de microondas



Fuente: Tomado de Urango Anaya, Ortega Quintana, Vélez Hernández y Pérez Sierra (2018).

2.2.11 Usos de la pectina

Los usos de la pectina, son muy amplios, se consideran sus usos en:

1. La industria alimentaria.
2. Industria farmacéutica
3. Industria cosmética
4. Usos industriales

1. Las aplicaciones en la industria alimentaria, se realiza en la elaboración de los siguientes productos:

- Dulces y mermeladas: Da fuerza de gel y baja la sinéresis agua / jugo.
- Caramelos de fruta: El uso de pectinas permite una buena estructura agradable al paladar.
- Bebidas a base de fruta: Otorga estabilidad en fibra y pulpa.
- Bebidas lácteas ácidas: Confiere estabilidad a la proteína.
- Sorbetes: Facilita y favorece la liberación del sabor y permite el control de formación de cristales de agua.
- Preparados de fruta: Viscosidad controlada, tixotropía y efecto de recuperación.
- Postres ácidos: Mejora su estructura y la resistencia del gel, confiriendo buena textura y brillo.

La aplicación de pectinas en la industria alimentaria, se basa en dar reforzamiento de sabor, gusto y control de cristalización de sorbetes. El consumo de la pectina como aditivo en los alimentos, ha mostrado que influye en la salud, al reducir los niveles de colesterol en la sangre, funcionando como fibra dietaria soluble en el intestino grueso y colon. Sus propiedades gelificantes permiten que la pectina sea aplicada como un efectivo depurador del sistema digestivo. La pectina también es usada en los complementos alimenticios.

2. Industria farmacéutica. La pectina para añadir viscosidad y estabilizar emulsiones y suspensiones es utilizada en varias preparaciones líquidas farmacéuticas. La pectina tiene además distintos efectos biológicos valiosos, siendo el más famoso el efecto anti – diarreico, las suspensiones, polvos, o

pastillas anti - diarrea, contienen a menudo una mezcla de caolín, pectina y un antibiótico. Además se caracteriza por tener efectos benéficos en:

- Tratamiento de heridas, mediante la preparación de apósitos y vendajes, facilitando la cicatrización de las heridas.

- Transfusiones sanguíneas, como sustituto del plasma sanguíneo.

- En la preparación de insulina.

- En la preparación de penicilina, para reducir el grado de absorción.

- Prolonga la acción de la adrenalina, hormonas naturales, estreptomicina, efedrina, etc.

- Preparación de ungüentos para úlceras de la piel.

- Tratamientos de choques traumáticos.

- Regulador del tracto intestinal.

- Para el tratamiento intravenoso del shock.

- Buen aglutinante de la sangre, por lo cual es usada en el tratamiento de hemorragias intestinales; sin embargo, no conviene utilizar la solución de pectina en exceso por que se forma en el organismo un compuesto de naturaleza desconocida.

3. Industria cosmética. La pectina es utilizada en la elaboración de cosméticos y productos de aseo; se usa en la preparación de:

- Pastas dentífricas.

- Absorbentes en jabones.

- Cremas, lociones ungüentos.

4. Otros usos de la pectina. Otros usos de la pectina son:

- Endurecimiento del acero u otras aleaciones, puede usarse una solución de 0.2 a 4%, la pectina es más ventajosa que los aceites debido a que la operación se regula con facilidad cambiando las concentraciones.

- Recubrimiento de láminas de aluminio.

- En la industria de plásticos y fabricación de productos espumantes como agentes de clarificación y aglutinantes.

- Preparación de fibras.

- Fabricación de papel celofán y cintas de adorno.

- Para la preparación de sustancias adhesivas en sustitución de la dextrina

- Sustancia clarificantes y aglutinantes en el manejo de las aguas industriales residuales.

2.2.12 Métodos de extracción de fibra

Los métodos de extracción de fibra son explicados por Trejo Márquez, Lira Vargas y Pascual Bustamante (2016), de la forma siguiente: La utilización de los métodos de la obtención de la fibra, depende de las fuentes empleadas, por ejemplo, si se van a tratar (frutas, vegetales, leguminosas o cereales). Además de la determinación del tipo de materia, influyen otros factores como son: (a) su estado de madurez; (b) la época de producción; (c) el lugar de cosecha; y (d) el procesamiento al que sea sometida. Los métodos tradicionales para la obtención de fibra involucran operaciones como:

1. Trituración para disminuir el tamaño de las muestras.
2. El lavado para reducir la presencia microbiana y residuos.
3. Filtración y secado.
4. Molienda y envasado.

También pueden emplearse otros tratamientos como extrusión, autoclavado e hidrólisis en medios ácidos o alcalinos, que se aplican en fuentes con alto contenido de fibra dietética con el fin de hidrolizar parte de esta fracción para obtener una mejor relación de fibra dietética soluble e insoluble y para inducir a los residuos de fibra propiedades funcionales deseables para un sistema alimenticio específico.

Sin embargo, aunque existan diferentes tratamientos para la extracción de fibra es necesario tener en cuenta que un tratamiento eficaz debe ser de bajo costo y bajo consumo energético, fácil recuperación y reutilización, además de ser aplicable a diversos materiales con eficacia y reproducibilidad. En forma general Castells (2000) citado por Trejo Márquez, Lira Vargas y Pascual Bustamante (2016), agrupa los tratamientos empleados para la solubilización y separación de uno o más de los componentes de los residuos en tres categorías: físico, químico y biológico.

1. Tratamientos físicos Su principal uso es denominado como pretratamiento de los residuos. No obstante, algunas veces tales técnicas se pueden usar como complemento al método químico y biológico. Algunas operaciones de este tratamiento son: la absorción, adsorción, decantación, flotación, centrifugación, filtración, destilación entre otro. Sin embargo, los tratamientos físicos pueden llegar a modificar las propiedades de la fibra, incluso los contenidos de fibra dietética y fibra insoluble presentes en los residuos de fibra.

2. Tratamientos químicos. Los tratamientos químicos consisten en provocar alteraciones en la naturaleza química del mismo, mediante el uso de equipos y reactivo, se provocan reacciones, para convertirlos en otras sustancias que no sean perjudiciales para el medio ambiente o bien que permitan su reutilización en algún proceso industrial.

Sin embargo, los tratamientos químicos han recibido mayor atención debido a que los tratamientos físicos llegan a ser relativamente ineficientes y los enzimáticos (biológicos) muy específicos. Dentro de los tratamientos químicos se han utilizado diferentes procesos con diferentes sustancias y condiciones.

Los métodos químicos contribuyen a una pérdida de 100% de fibra dietética soluble, el 30-40% hemicelulosas, y 10-20% de celulosa, debido a la interrupción de ligamiento glucosídico.

En algunos residuos de fibra de cereales y bagazos como los de coco y caña, que poseen un alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, debido a que sus fibras son duras, para su obtención se aplican tratamientos con ácidos, sales o peróxidos, para hidrolizar las estructuras de la fibra al destruirse los enlaces entre polisacáridos, así como las paredes celulares lignificadas, con la finalidad de hacer menos duros dichos residuos y poderlos incorporar en alimentos para humanos.

3. Tratamientos biológicos Los tratamientos biológicos se aplican para ciertos productos orgánicos que pueden ser degradados en productos relativamente inocuos por la acción biológica de microorganismos. Los procesos que se usan en estos tratamientos son: fangos activados, tratamientos por bacterias o compostaje. Existen también métodos químicos, enzimáticos y enzimático-químicos, que son algunas técnicas que se utilizan actualmente para extraer fibra

dietética a partir de diferentes fuentes de alimentos. Las condiciones de procesamiento en el método, cambian la composición y microestructura de la fibra dietética, lo que a su vez, conduce a efectos deseables e indeseables en sus propiedades físico-químicas y funcionales.

Para los métodos enzimáticos, dos o tres enzimas tales como amilasa, amiloglucosidasa y la proteasa se utilizan en el proceso de extracción enzimática para eliminar el almidón, el azúcar soluble y proteínas, que aumentan la complejidad y coste. El método enzimático-químico disminuye el rendimiento de la fibra dietética, debido a la pérdida de polisacáridos durante la hidrólisis química y tratamiento previo.

Otro método biológico para la obtención de fibra, es por medio de las fermentaciones. La fermentación es un proceso en el que se presentan cambios químicos y físicos en un sustrato de naturaleza orgánica, el cual ocurre como resultado de la acción de un complejo enzimático y microorganismo relacionados. Es también denominado como una respiración en ausencia de oxígeno, es un proceso metabólico en donde los carbohidratos y otros compuestos relacionados son parcialmente oxidados, con liberación de energía en la ausencia de algunos electrones aceptadores externos. Este proceso anaerobio genera menor energía, que el proceso aerobio.

2.3 Marco legal relacionado con la obtención de la pectina

El marco legal relacionado con la obtención de la pectina a nivel general, es argumentado por Silvateam (s.f.) acerca de la posición del Comité Conjunto de Expertos en Aditivos Alimenticios (JECFA) de la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS) han aprobado la pectina como un aditivo seguro para el uso en el sector alimenticio y le han asignado una dosis diaria aceptable (DGA) no especificada.

Esto se aplica cada vez que los datos toxicológicos, bioquímicos y clínicos disponibles permiten concluir que la absorción total de tal sustancia, a causa de su presencia natural y/o de su uso en la alimentación dentro de las normas de

buena fabricación (NBF) a los niveles necesarios para obtener el efecto técnico deseado, no presenta riesgos para la salud.

En Estados Unidos, la pectina es reconocida como segura (GRAS) por la FDA y por lo tanto puede ser usada en los alimentos según la cantidad necesaria para cada aplicación específica.

3. MARCO METODOLÓGICO

El marco metodológico, es una parte fundamental de este estudio, en virtud que sistematiza la investigación describiendo el tipo y diseño de investigación, población y muestra a utilizar, en la obtención y caracterización de pectina a partir del albedo de naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus limon*).

En este Capítulo se define las modalidades de investigación seleccionadas y su explicación relacionada con una investigación mixta, es decir, cualitativa-cuantitativa.

3.1 Tipo de investigación

La investigación que se llevará a cabo es un análisis del proceso de hidrólisis ácida en la obtención y caracterización de pectina a partir del albedo de naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus limon*). El enfoque utilizado será de una investigación mixta, el cual es definido por Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2007): “Puede utilizar los dos enfoques, cualitativo y cuantitativo, para responder distintas preguntas de investigación de un planteamiento del problema”. (p.755). En referencia al enfoque cuantitativo, se trabajará datos medibles y observables en relación a la pectina que se obtenga. Con relación al enfoque cualitativo se refiere a la considera través de otros estudios realizados para la obtención de la pectina, con frutas cítricas distintas a la naranja y el limón.

3.2 Método de Investigación

Se abordará el problema objeto de estudio bajo la investigación descriptiva, con la cual se pretenderá conocerla pectina obtenida, a través de la medición de sus variables independientes. Es preciso destacar que Arias (2006), establece que la investigación descriptiva: “Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento [...]”

(p. 24). En este sentido, se apoyará en análisis bibliográfico y estudio de laboratorio.

En cuanto al análisis bibliográfico, Balestrini, (2001), plantea que “los datos se obtienen a partir de la aplicación de las técnicas documentales, en los informes de otras investigaciones donde se recolectaron esos datos, y/o a través de las diversas fuentes documentales” (p.132).

La investigación en laboratorio se basará en el manejo de muestras del albedo de naranja (*citrus sinensis*) y limón (*citrus limon*); en tal sentido se obtendrán datos considerados primarios, extraídos directamente de la realidad, además se considerará bibliográfica porque se recurrirá a fuentes secundarias con la finalidad de sustentar el estudio.

3.3 Población

La población a estudiar, la constituye los grupos de población estudiados por algunas de sus características previamente determinadas para ser objeto de estudio. En este trabajo la población estará constituida por los frutos cítricos.

3.4 Muestra

El tipo de muestra a utilizar es la muestra no probabilística, definida por Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2007) como: “Subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación”. (p. 241) De tal forma se materializó material orgánico proveniente de del albedo de naranja (*citrus sinensis*) y limón (*citrus limon*).

3.5 Escenario de la investigación

El escenario de la presente investigación está delimitado espacialmente por su aplicación en Colombia; la investigación se realizó en el Año 2019.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para efectos de la investigación, se utilizarán una serie de técnicas para la recolección de datos, lo cual facilitará recabar la información; en este orden Grawitz citado por Balestrini (2001), considera que “estas técnicas son diversas según el objeto a que se apliquen y no se excluyen entre sí. Todavía es preciso, por una parte, saber elegir la más adecuada, y por otra utilizarla convenientemente” (p. 145). Se utilizarán: la observación, el análisis bibliográfico o de contenido y el cuestionario.

3.6.1 La observación

En general, el método de observación es sumamente útil en todo tipo de investigación descriptiva, y es a partir de esta técnica y desde su perspectiva teórica que orientaremos el presente estudio para captar la realidad estudiada.

3.6.2 Análisis bibliográfico o de contenido

Es la técnica que consiste en la revisión de libros, artículos y trabajos académicos relacionados con el tema; de una forma sistemática y objetiva, para realizar inferencias relevantes con el tema tratado.

3.7 Técnicas de análisis de información

En el análisis y presentación de los resultados, se procederá a organizar, evaluar y verificar los resultados debidamente procesado en cuadros estadísticos simples, para lo cual se utilizarán criterios, instrumentos y procedimientos estadísticos y matemáticos, mediante hojas de cálculo de sistemas computarizados (bajo el software excel); para la posterior tabulación de los mismos e interpretación de los datos, en función de los objetivos

correspondientes, con la finalidad de evidenciar si estos serán alcanzados y, si las interrogantes de la investigación se resolvieron.

Una vez obtenidos los resultados, los mismos serán presentados a través de la representación gráfica, lo cual servirá de base para emitir las conclusiones a las que se llegará en la investigación. Para el manejo de la información se considerará el siguiente procesamiento descrito en el siguiente cuadro.

Cuadro 3

Técnicas y Procesamiento de Datos

Técnica	Instrumento	Procesamiento
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Observación de los albedos de las frutas cítricas estudiadas 	Toma de Notas	Registro
	Listas de Cotejo	Clasificación
	Guías de Observación	Tabulación
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis bibliográfico o de contenido 	Computadora	Análisis-Síntesis

Fuente: Estimaciones propias. (2019).

3.8 Sistemas de Variables

3.8.1 Definición conceptual de variable

La definición conceptual de la variable es la expresión del significado que el investigador le atribuye y con ese sentido debe entenderse durante todo el trabajo, por lo que a continuación se presenta un cuadro donde se identifican y se definen conceptualmente.

Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2007) argumentan: “Una variable es una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse.” (p.123).

Según Arias (2006): “Variable es una característica o cualidad; magnitud o cantidad, que puede sufrir cambios, y que es objeto de análisis, medición, manipulación o control en una investigación.” (p.57). Es decir, una variable es un aspecto o dimensión de un objeto, o una propiedad de los mismos que adquieren distintos valores.

3.8.2 Operacionalización de Variables

Una variable es comprendida como parte de las características que intervienen en los objetivos específicos planteados en la investigación, la naturaleza del estudio, obliga a definir las variables atribuidas en función de los objetivos específicos formulados.

Cuadro 4. Operacionalización de las variables

Objetivos Específicos	Variables	Tipo de Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Indicar las características de la pectina a partir de su obtención del albedo de naranja (<i>citrus sinensis</i>) y limón (<i>citrus limon</i>) para determinar cuál es el más relevante.	Características de la pectina	Cualitativa	Trata de propiedades fisicoquímicas identificativas de la pectina obtenida	1. Propiedades fisicoquímicas de las naranjas. 2. Propiedades fisicoquímicas de los limones.	- Ceniza - Humedad -Ácido anhidrogalacturónico - Contenido de metoxil ester - Grado de esterificación
Desarrollar la cinética de la degradación del ácido galacturónico a partir de la pectina obtenida.	Cinética de la degradación del ácido galacturónico	cuantitativa	Mecanismo por el cual se conoce matemáticamente el comportamiento de un producto al transcurrir el tiempo.	1. Concentración 2. Tiempo	Metodología experimental

Simular el proceso de hidrólisis ácida obtenido a partir de la cinética del ácido galacturónico.	Simulación del proceso de hidrólisis ácida	Cuantitativa	Mecanismo con el cual se puede visualizar un proceso sin que esté ocurriendo en un plano real permitiendo modificar	1. Imagen de simulación	Metodología computacional
--	--	--------------	---	-------------------------	---------------------------

Fuente: Datos Propios. Año 2019.

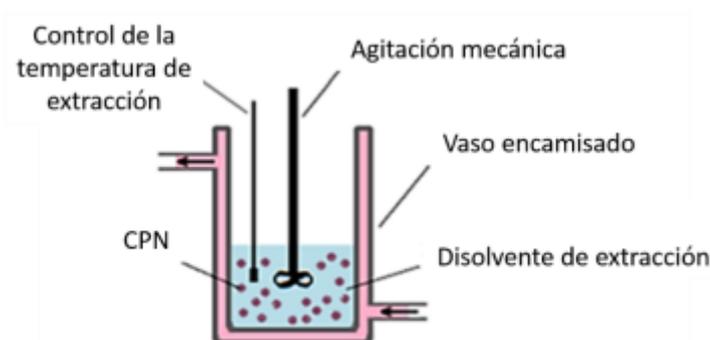
4. DESARROLLO

4.1 Equipos comúnmente utilizados en la extracción

4.1.1 Equipo extractor I: agitación mecánica

Según Umaña Zamora (2016), se puede llevar a cabo la extracción con agitación mecánica, con un agitador convencional de tipo (RZR 2021, Heidolph, Alemania) dotado con una hélice de cuatro álabes que describían un círculo de 50 mm de diámetro a una velocidad de giro de 82 rpm y un vaso encamisado con una capacidad de 250 ml conectado a un baño termostático (Thermomix 1441, Braun, Alemania) para mantener una temperatura constante ($T = 25 \pm 2^\circ\text{C}$) durante el proceso de extracción. El agitador se sitúa en el eje central del vaso y en el centro del volumen de líquido.

Figura 9. Equipo de extracción con agitación mecánica



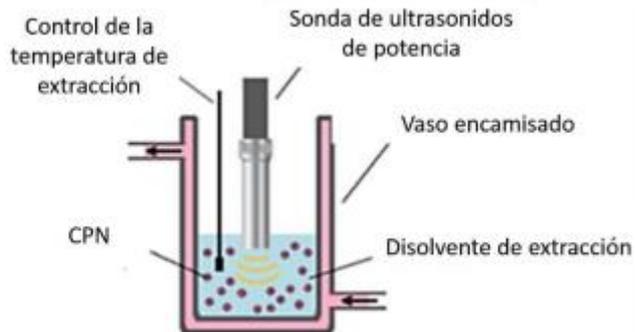
Fuente: Tomado de Umaña Zamora (2016), p.18.

4.1.2 Equipo extractor II: ultrasonidos de potencia

En relación a la extracción, Umaña Zamora (2016), indica que puede llevarse a cabo con un procesador de ultrasonidos UP400S (Hielscher Ultrasound Technology, Alemania) con una frecuencia de 24 kHz al cual se le acoplaron sondas o sonotrodos de diferentes diámetros (14 mm y 40 mm de diámetro y una

longitud de 100 mm) , que permite trabajar con potencias diferentes; utilizando un vaso encamisado de 250 ml de capacidad conectado a un baño termostático (Selecta, Tectron Bio, España) ($T = 25 \pm 2^\circ\text{C}$). La sonda se puede colocar en el eje central del vaso siempre en la misma posición.

Figura 10. Equipo de extracción con ultrasonidos de potencia



Fuente: Tomado de Umaña Zamora (2016), p.18.

En cuanto a los procesadores de ultrasonidos, se tiene:

- A. El procesador de ultrasonido de potencia UP400S.
- B. Sonda de 14 mm de diámetro.
- C. Sonda de 40 mm de diámetro.

Figura 11. Procesadores de ultrasonidos



Fuente: Tomado de Umaña Zamora (2016), p.18.

4.2 Caracterización de los insumos experimentales

4.2.1 Subproducto de la naranja

A juicio de Umaña Zamora (2016) los subproductos del procesado de naranja desde el punto de vista de su comercialización, las naranjas son el cítrico más importante. Según la base estadística de la Organización de la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2016), la producción mundial de naranjas en el 2013 fue de 71,445,352 t; de las cuales aproximadamente el 70% se destinó a la manufactura de productos tales como zumos y mermeladas. Los subproductos resultantes del procesado de los cítricos representan cerca del 50% del peso de los mismos y están compuestos principalmente por la piel, la pulpa y las semillas

Debido a la gran demanda química y biológica de oxígeno, el almacenamiento, transformación y/o eliminación de tal cantidad de subproductos/residuos constituye un serio problema en términos ecológicos y económicos. Durante décadas los residuos de las industrias elaboradoras de zumos han sido utilizados como alimento animal o como abono orgánico para suelos.

Recientemente se ha demostrado el efecto fitotóxico y antimicrobiano de algunos polifenoles durante el proceso de compostaje, ocasionando la inhibición de la germinación (Heerden et al., 2002; Bustamante et al., 2010). Así pues, de forma previa a su uso como fertilizante ya que los residuos de cítricos contienen compuestos fenólicos, es necesario realizar un pretratamiento de los residuos con el correspondiente coste que ello supone.

También indica Umaña Zamora (2016) que los compuestos bioactivos de los subproductos de naranja constituyen una fuente de diversos nutrientes y compuestos de alto valor comercial. La piel y las semillas de la naranja, son ricos en compuestos fenólicos; según la variedad, su contenido varía entre 0.67 a 19.62 g/100 g de Introducción 4 materia (base seca). De dichos subproductos se obtienen también aceites esenciales, principalmente compuestos por limoneno, linalol, α -pineno, β -pineno y noctanal, que se utilizan como aromatizantes y saborizantes; así como también pigmentos carotenoides que tienen un

importante efecto beneficioso en la salud, por ser precursores de la vitamina A y también por su capacidad antioxidante.

4.2.1. Subproducto del limón

Terán Montalván (2015), indica que la cáscara deshidratada de limón, es un producto 100% natural, obtenido a partir de la fruta de limón sutil, *Citrus aurantifolia*, en condiciones óptimas de conservación y madurez. La deshidratación de la cáscara de limón proviene de una de las formas más antiguas de procesar alimentos, la cual consiste en eliminar la humedad de los alimentos para que no se malogren. Los alimentos deshidratados mantienen gran proporción de su valor nutritivo original si el proceso se realiza en forma adecuada.

La cáscara fresca, procedente de la extracción del jugo de limón para la producción de jugos y aceites esenciales, es sometida a una desintegración para luego pasar por etapas de lavado. Enseguida se desarrollan las etapas de prensado y secado, continuando por un enfriado previo al llenado y pesado en sacos de polipropileno.

En relación a las partes constitutivas del limón, Terán Montalván (2015) indica que el flavedo es una capa delgada que posee los pigmentos que cambian de color durante la maduración de verde a amarillo. El albedo es la parte blanca que contiene pectinas que le confieren firmeza a la corteza. El endocarpio está formado por la pulpa que contiene las vesículas con el jugo.

El proceso de deshidratación del limón consiste en secarlo de forma directa, natural y completamente al sol, sin el uso de ningún tipo de elemento artificial ni agregados químicos, pero cumpliendo las más estrictas normas de calidad.

4. 3 Procedimiento experimental

4.3.1 Obtención de la materia prima y pre-tratamiento

La materia prima obtenida de las fruterías de Pamplona-Norte de Santander ubicadas en el mercado principal, fueron lavadas manualmente con agua y desinfectadas con hipoclorito de sodio. Posteriormente se pelo el mesocarpio y se retiró el albedo, material del cual se extrajo la pectina utilizando de éste 100g aproximadamente para cada muestra como lo indica el Cuadro 5.

Las muestras (albedo de naranja y limón) previamente pesadas se sometieron a inactivación enzimática, sumergiéndolas en agua en su punto de ebullición durante 15 min. Después de este tiempo se filtraron para continuar con el secado a fin de retirar la humedad presente, resultado del proceso de inactivación lo cual se refleja en el Cuadro 6. El proceso de secado se llevó a cabo utilizando el equipo de liofilización marca Labconco modelo 74000, el cual operó como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 5

Cantidad de albedo pesado

Peso del albedo tratado		
# Muestra	L (g)	N(g)
1	100,0001	100,0001
2	100,0001	100,0009
3	100,0002	100,0004

Fuente: Cálculos propios

Cuadro 6

Cantidad de albedo húmedo

Peso del albedo Húmedo		
# Muestra	L (g)	N(g)
1	160,874	185,57
2	168,254	173,9091
3	168,315	166,2134

Fuente: Cálculos propios

Cuadro 7

Modo de operación del equipo de liofilización

#Etapa	Temperatura °C	Rampa (°C/min)	Tiempo de congelamiento(h)
1	-40	1,2	4
2	-30	1,2	4
3	-20	1,2	4
4	-10	1,2	4
5	0	1,2	4

Fuente: Cálculos propios

4.3.2 Hidrólisis ácida

Esta etapa del proceso se realizó siguiendo la metodología explicada por el químico Salomón Ferreira Ardila, en su monografía titulada Pectinas: Aislamiento caracterización y producción.

Para ello se prepararon soluciones ácidas a diferentes pH (ver Cuadro 8), utilizando ácido clorhídrico concentrado al 37% en 500 mL de agua destilada, en los cuales se introdujo los 100g aproximadamente de albedo de las respectivas muestras.

Para iniciar el proceso de hidrólisis se calentó la solución hasta 92°C durante 30 min. Terminado el proceso se filtró usando un filtro de tela con el fin de obtener la mayor cantidad de solución posible, la cual se dejó reposar para someter a la posterior etapa.

Cuadro 8
Hidrólisis ácida

Hidrólisis Ácida Convencional				
# Muestra	Limón (pH)	Naranja (pH)	t (min)	T(°C)
1	2	2	30	92
2	1,8	1,8	30	92
3	1,2	1,2	30	92

Fuente: Cálculos propios

4.3.3 Precipitación

Para provocar la separación de la pectina se adiciono como solvente alcohol isopropílico concentrado al 96%, el cual al ser adicionado en la mezcla inmediatamente reacciono, observándose la formación de coágulos los cuales después de 1h fueron filtrados para su posterior tratamiento.

Cuadro 9

Cantidad de solvente empleado para la precipitación

Precipitación				
# Muestra	Limón (pH)	Naranja (pH)	Alcohol(mL)	t (min)
1	2	2	400	60
2	1,8	1,8	400	60
3	1,2	1,2	400	60

Fuente: Cálculos propios

4.3.4 Filtración y secado

Terminada la etapa de precipitación la pectina obtenida se filtró, se trasladó en cajas de Petri y se continuo con la etapa de secado a una temperatura de 45°C hasta peso constante. Finalmente se homogenizaron las muestras utilizando un molino de mano, con el propósito de tener un producto atractivo a la vista.

4.3.5 Obtención de pectina implementando la sonicación

Se realizó la extracción haciendo uso del ultrasonido marca elmasonic tipo E 30H observado en la figura 12, operando bajo las condiciones que se observan en el Cuadro 10, con el fin de comparar el rendimiento que se tendría al aplicar la extracción utilizando este método asistido en el cual se tomó menos tiempo comparado con el método convencional.

Cuadro 10

Extracción por ultrasonido

Muestras	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Rango pH
L1	80	30	1-2
L2	80	45	1-2
L3	80	60	1-2

Muestras	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Rango pH
N1	80	30	1-2
N2	80	45	1-2
N3	80	60	1-2

Fuente: Cálculos propios

Figura 12. Ultrasonicación



Fuente: Tomado del proceso llevado a cabo.

4.3.6 Caracterización de la pectina

- Determinación de humedad

El proceso que se llevó a cabo para determinar esta variable fue realizado según la norma AOAC por lo que se tomó 1gr de cada muestra, se pesó en un crisol de porcelana previamente secado y tarado, se ingresaron a la mufla marca Vulcan a una temperatura de 60°C por 24h.

$$\%Humedad = \frac{Mh - Ms}{Mh} \times 100$$

Donde:

Mh: masa de la muestra húmeda

Ms: masa de la muestra seca

- Determinación de ceniza

Se pesó 1gr de las respectivas muestras, introduciéndolas en una mufla durante 4h a una temperatura de 600°C a fin de calcular el contenido de ceniza mediante la diferencia de peso.

$$\%Ceniza = \frac{MB}{MA} \times 100$$

MA: masa de la muestra inicial (sin calcinar)

MB: Masa de la muestra final (calcificada)

- Determinación del peso equivalente y acidez libre

Se utilizaron los siguientes reactivos:

Hidróxido de sodio 0,25N

Hidróxido de sodio 0,1N

Ácido clorhídrico 0,25N

Cloruro de sodio

Agua destilada

Se pesaron 0,5 gr de pectina y 1gr de cloruro de sodio haciendo uso de la balanza analítica maraca OHAUS, estos reactivos se adicionaron en 100 mL de agua destilada, dentro de un Erlenmeyer de 250 mL con ayuda de alcohol isopropílico al 96% para ser mezclados. A esta mezcla se le agregaron 6 gotas de indicador rojo de fenol con la finalidad de titular la solución, para ello se utilizó hidróxido de sodio 0,1N hasta notar la presencia del color característico de esta titulación. Ésta solución se guardó para continuar con la determinación del contenido de metoxilo.

Mediante la fórmula (1) y (2) se determinó el peso equivalente y la acidez libre respectivamente a partir de los datos obtenidos de la titulación.

Fórmula (1)

$$P. \text{Equivalente} = \frac{mg. \text{pectina}}{meq \text{ NaOH}}$$

Fórmula (2)

$$\text{Acidez Libre} = \frac{N \times \text{Vol de soda (mL)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \quad (A)$$

- Determinación del índice de metoxilo

El índice de metoxilo se determinó empleando la fórmula (3), para obtener los datos se continuó titulando la solución con la cual se determinó el peso equivalente y la acidez libre procediendo de la siguiente manera:

Se agregó 25mL de NaOH 0,25N agitando perfectamente, se tapó y dejó en reposo durante 30min a temperatura ambiente. Pasado este tiempo se adicionó suficiente HCl 0,25N para neutralizar la soda agitando perfectamente. Finalmente, esta solución se tituló nuevamente con NaOH 0,1N hasta observar el color característico.

Fórmula (3)

$$\% \text{Metoxilo} = \frac{meq \text{NaOH} \times 31 \times 100}{\text{peso de la muestra (g)}} \quad (B)$$

- Determinación del grado de esterificación

Esta característica no es más que la relación entre los mili-equivalentes de NaOH consumidos en la determinación del contenido de metoxilo y la suma entre esta última y los mili-equivalentes de NaOH gastados en la determinación de acidez libre como se expresa en la fórmula (4).

Fórmula (4).

$$\%Esterificación = \frac{meqNaOH (B)}{meqNaOH (B) + meqNaOH(A)}$$

Donde (A) hace referencia a la cantidad de NaOH empleados en la titulación para determinar la acidez libre (fórmula 2) y (B) a la cantidad de NaOH empleados en la titulación para determinar el índice de metoxilo (fórmula 3).

- Determinación del contenido de ácido galacturónico

Se emplearon los siguientes reactivos para llevar a cabo la determinación de esta variable.

Etanol purificado

Carbazol 0,15%

Ácido sulfúrico concentrado

Ácido acético glacial

EDTA

Hidróxido de sodio 0,1N

Ácido galacturónico R/A

Para realizar la curva patrón de absorbancia vs concentración se procedió de la siguiente manera siguiendo la metodología propuesta por McComb y descrita por salomón Ferreira en su monografía.

-Preparación de la solución patrón

Se preparó una solución de ácido galacturónico monohidratado a partir de 40 mg de ésta en un balón aforado de 100mL, tomando de esta solución 10mL para aforarla en un balón de 100mL y así obtener una concentración final de 0,004%p/v de solución. De esta última solución se tomaron alícuotas como se registra en el Cuadro 11 y se completó con agua destilada hasta obtener 2mL de

solución. Con cada una de estas alícuotas se desarrolló el método colorimétrico propuesto por McComb.

Cuadro 11

Preparación de la solución patrón de AG

mL de AG al 0,004%	Agua mL	mcg AG/2 mL
0,25	1,75	10
0,5	1,5	20
0,75	1,25	30
1	1	40
1,25	0,75	50
1,5	0,5	60

Fuente: Cálculos propios

- Preparación de las muestras problema

Para realizar la lectura en el equipo de espectrofotometría uv-vis y determinar el contenido de ácido galacturónico en las muestras de pectina, obtenidas de los diferentes albedos, se procedió a preparar una solución con 1gr de pectina y 250 mL de EDTA, dicha solución se agito durante 15 min en una plancha de calentamiento con agitación magnética, se ajustó el pH a 11,5 utilizando hidróxido de sodio al 0,1N; seguidamente se sumergió la solución en un baño de agua a una temperatura de 25°C durante 30min.

Después de este tiempo se ajustó nuevamente el pH utilizando ácido acético glacial hasta llevarlo a un rango entre 5 y 5,5. A esta solución se le realizó el correspondiente tratamiento para desarrollar el color y determinar el parámetro en el equipo.

- Tratamiento para desarrollar el color

Con una pipeta aforada se tomaron 2mL de la última disolución del desesterificado en medio acético y se adicionaron en tubos de ensayo con el propósito de enfriarse utilizando hielo picado a 3°C el cual estaba contenido en una cava. Después de tener la alícuota lo suficientemente fría se le adiciono a cada tubo 12mL de H₂SO₄ concentrado, se agitaron y se introdujeron nuevamente en la cava donde se encontraba el hielo para ser enfriados. El proceso continuo al retirar los tubos de la cava para someterlos a calentamiento en un baño de agua a temperatura de ebullición durante 10min, seguido de esto se enfriaron hasta 20°C.

A los tubos de ensayo previamente enfriados se les agrego 1ml de carbazol al 0,15% p/v preparado con anterioridad, se mezcló y durante 25±5min se dejó a la temperatura ambiente, contabilizados a partir de cuándo se terminó de adicionar el carbazol.

Finalmente se leyó la absorbancia de cada muestra en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 520nm. El blanco utilizado fue preparado a las mismas condiciones (2mL de agua destilada, 12mL de H₂SO₄ y 1mL de carbazol).

Para determinar la concentración de las muestras problemas se realizó una gráfica absorbancias vs concentración donde la concentración correspondía al ácido galacturónico comercial en solución; preparado según el proceso realizado por Ferreira.

5. ANALISIS DE RESULTADOS

En relación con el análisis de resultados, se obtuvieron los datos que se tabulan a continuación.

Cuadro 12
Peso del albedo liofilizado

Peso del albedo liofilizado		
# Muestra	L (g)	N(g)
1	78,5255	90,8415
2	81,6206	108,4669
3	83,1198	84,9227

Fuente: Cálculos propios.

Esta tabla contiene el peso que tenía cada muestra de las respectivas frutas al sacarse del equipo de liofilización lo que permitió determinar los datos que se muestran en la siguiente tabla.

Cuadro 13
Perdida de humedad en cada muestra

# Muestra	L (g)	N(g)
1	82,3485	94,7285
2	86,6332	65,4422
3	85,1949	81,2907

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 14

Cantidad de pectina obtenida en base húmeda y en base seca

# Muestra	Pectina Húmeda		Pectina Seca	
	L (g)	N(g)	L (g)	N (g)
1	31,7202	22,2861	2,6114	1,0293
2	50,8243	1,4136	1,3907	-----
3	8,9774	40,1156	0,5754	2,2756

Fuente: Cálculos propios.

Los resultados sobre la cantidad de pectina obtenida en base húmeda y en base seca permiten deducir que este producto tiene una alta afinidad con el grupo hidroxilo puesto que el resultado del mismo en base seca es muy bajo.

La muestra número 2 de la pectina seca, obtenida de la naranja, no refleja resultado debido a que durante el proceso de hidrólisis ácida la solución tuvo un exceso de evaporación, precipitando de esta manera el albedo, lo cual redujo la cantidad obtenida de pectina de manera significativa a tal punto de no ser medida.

Cuadro 15

Albedo liofilizado

# Muestra	%Rendimiento	
	L (g)	N(g)
1	48,8118	48,9526
2	48,5104	62,3698
3	49,3835	51,0925

Fuente: Cálculos propios.

Rendimiento del albedo que se liofilizo con respecto al albedo que sometió a inactivación enzimática.

Cuadro 16
Pectina obtenida

# Muestra	%Rendimiento	
	L (g)	N(g)
1	3,3255	1,1330
2	1,7038	
3	0,6922	2,6796

Fuente: Cálculos propios.

Los datos obtenidos no están por debajo de los encontrados en la literatura teniendo en cuenta que este es el rendimiento obtenido con respecto a la fruta en base húmeda.

Figura 13. Color de la pectina extraída



Fuente: Análisis propio.

El color que se observa en la figura 13 es un color característico de la pectina extraída del limón Tahití específicamente por lo que es muy favorable el tratamiento con este cítrico ya que proporciona buenas propiedades organolépticas al producto final una de las características que buscan obtener en los estudios que se han realizado con otro tipo de frutos.

Cuadro 17**Resultado de los parámetros determinados en las muestras de limón**

# Muestra	1	2	3
L (mg)	500,6	500,1	500,9
meq	0,23	0,17	0,19
Peso equivalente	2176,52174	2941,76471	2636,31579
Acidez libre	0,45944866	0,33993201	0,37931723
%Metoxilo	14,8621654	15,3109378	15,9672589
Grado de Esterificación	91,2547529	93,5606061	93,1407942

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 18**Resultado de los parámetros determinados en las muestras de naranja**

# Muestra	1	2	3
N(mg)	500,70	500,20	500,00
meq	0,27	0,23	0,23
Peso equivalente	1854,44	2174,78	2173,91
Acidez libre	0,54	0,46	0,46
%Metoxilo	13,62	0	11,78
Grado de Esterificación	89,07	0	89,20

Fuente: Cálculos propios.

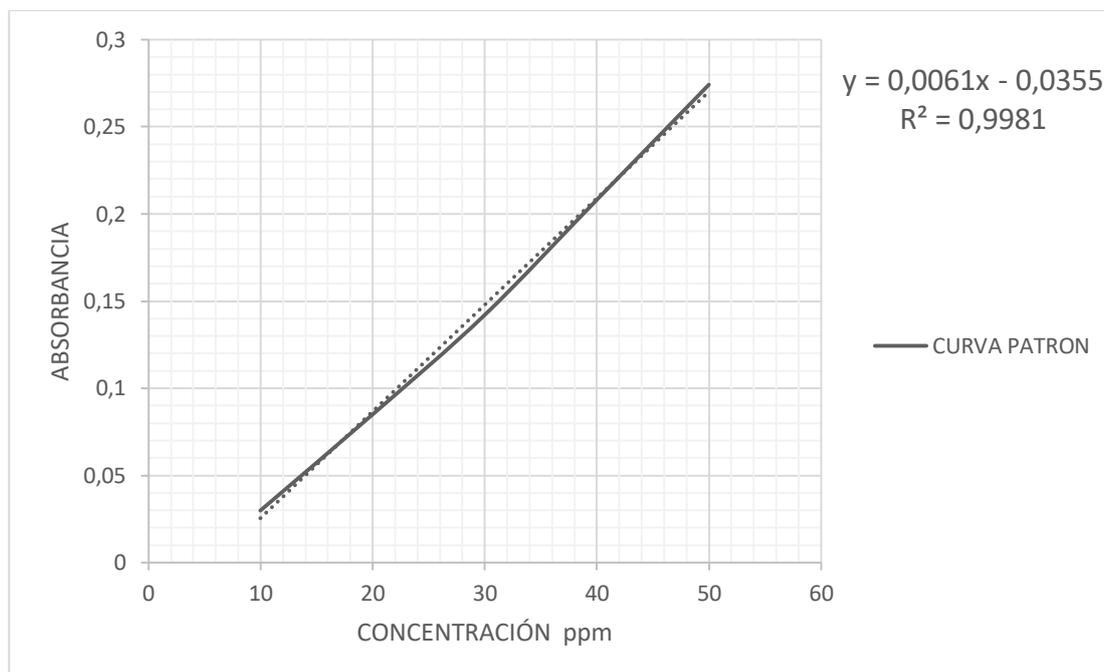
En los Cuadros 17 y 18 se encuentran los resultados obtenidos de determinar las variables que permiten identificar si la pectina está altamente esterificada o por el contrario su grado es bajo, así como también el índice de metoxilo el cual da razón del tipo de aplicación que se le podría dar a la pectina extraída de este tipo de fruta. Las muestras de limón contienen un mayor grado de esterificación

que las muestras de naranja lo cual permite deducir que si se tuviera que elegir entre estas muestras se escogerían las de limón a pesar de que la diferencia entre estas es relativamente mediana, puesto que en general ambas muestras contienen un grado de esterificación alto considerando el rango en el que se encuentra ya que como se mencionó antes si el grado es mayor al 50% se considera como una pectina altamente esterificada.

El porcentaje de metoxilo aumenta de acuerdo a la cantidad de titulante empleada, en este caso se trabajó con NaOH observando que a mayor cantidad de este el grado de metoxilo aumenta lo cual quiere decir que se requiere una pectina con alto contenido de grupo hidroxilos libres.

La grafica de la curva patrón que a continuación se refleja, fue realizada usando la herramienta de Excel, gracias a los datos obtenidos al pasar las muestras con concentraciones conocidas por el espectrofotómetro, para así determinar la concentración de las muestras problema; lo que conduce a determinar el contenido de pectinas presente en cada muestra. Para ello se desarrolló el proceso por colorimetría, la técnica consistió en preparar soluciones a diferentes concentraciones entre 10-70 μ g de ácido galacturónico en 2 mL de solución, utilizando carbazol y ácido sulfúrico para desarrollar el color.

Figura 14. Graficación de la curva patrón



Fuente: Cálculos propios.

La medición realizada en el equipo de espectrofotometría UV-visible arrojó los datos reflejados en el cuadro 19 los cuales se emplearon para determinar por medio de la ecuación de la recta la concentración que tendría las muestras empleadas para caracterizar la pectina. Como se observa las muestras tienen una concentración de pectina.

Cuadro 19

Lectura del espectrofotómetro ultravioleta visible

Absorbancia del ácido galacturónico							
Muestras	1	2	3	4	5	Promedio	Concentración (ppm)
L1	0,142	0,127	0,128	0	0	0,1323	27,5136612
L3	0,105	0,107	0,11	0,084	0,094	0,1	22,21311475
N1	0,02	0,019	0,03	0,036	0,026	0,0307	10,84699454
N3	0,034	0,054	0,077	0,112	0	0,0692	17,17213115

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 20**Resultados obtenidos del ANOVA**

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
%Metoxilo (L)	3	46,1403	15,3801	0,3088
Grado de Esterificación(L)	3	277,9561	92,6520	1,5083
Tiempo Liofilización	3	72	24	0

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 21**Análisis de Varianza de la muestra de limón**

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	10758,3576	2	5379,1788	8880,0016	3,85198E-11	5,1432
Dentro de los grupos	3,6345	6	0,6057			
Total	10761,9922	8				

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 22**Resultados de la muestra de naranja**

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
%Metoxilo(N)	3	40,2777	13,4259	3,2264
Grado de Esterificación (N)	3	251,9491	83,9830	73,0332
Tiempo de Liofilización	3	72	24	0

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 23**Análisis de la varianza para la muestra de naranja**

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	8688,0871	2	4344,0435	170,8914	5,1349E-06	5,1432
Dentro de los grupos	152,51942	6	25,4199			
Total	8840,6065	8				

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 24**Resultados de la muestra de limón**

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Acidez Libre (L)	3	1,1786	0,3928	0,0037
%Metoxilo (L)	3	46,1403	15,3801	0,3088
Grado de Esterificación (L)	3	277,9561	92,6520	1,5083

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 25**Análisis de la varianza para la muestra de limón**

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	14707,31	2	7353,6595	1211 4,765 6	1,517 4E-11	5,14325 285
Dentro de los grupos	3,6419	6	0,6069			
Total	14710,96	8				

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 26**Resultados de la muestra de naranja**

Resumen				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Acidez Libre (N)	3	1,4590	0,4863	0,0020
%Metoxilo(N)	3	40,2777	13,4259	3,2264
Grado de Esterificación (N)	3	251,9491	83,9830	73,0332

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 27**Análisis de varianza para la muestra de naranja**

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	12117,439 2	2	6058,7195	238,338 9	1,9208E-06	5,1432 5285
Dentro de los grupos	152,5236	6	25,4206			
Total	12269,962 8	8				

Fuente: Cálculos propios.

Cuadro 28
Resumen de contrastes de hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	Las distribuciones de ÍndiceMetoxilacion, GradoEsterificacion and TiempoLiofilizacion son las mismas.	Prueba de Friedman para muestras relacionadas para análisis de la varianza de dos factores por rangos	,002	Rechace la hipótesis nula.

Fuente: Cálculos propios.

Mediante la implementación del programa IBM SPSS statistics 23 se obtuvo el cuadro 28 con el que se relacionan las variables visualizadas: índice de metoxilo, grado de esterificación y tiempo de liofilización observándose que la hipótesis nula es rechazada de acuerdo al valor obtenido de significancia ya que este es menor que 0,005.

Cuadro 29**Resumen ANOVA**

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Grado de Esterificación	Entre grupos	24,563	1	24,563	,248	,706
	Dentro de grupos	99,123	1	99,123		
	Total	123,686	2			
Índice de Metoxilación	Entre grupos	6,891	1	6,891	,374	,651
	Dentro de grupos	18,422	1	18,422		
	Total	25,313	2			

Fuente: Cálculos propios.

Del cuadro 29 se puede inferir que no existe diferencia significativa del grado de esterificación entre las frutas puesto que en este se tuvo en cuenta los resultados de las dos frutas tratadas naranja (*Citrus sinensis*) y limón (*Citrus limon*) de igual manera el porcentaje de metoxilo con respecto a las dos frutas procesadas resolvió que no tenía significancia por lo que se opta por decidir que ambas variables (grado de esterificación e índice de metoxilación) son relevantes lo cual tiene mucho sentido conociendo que una depende de la otra.

El propósito de introducir la técnica de liofilización en principio fue para analizar si al tratar la materia prima por este medio de secado, las características propias de la pectina tendrían alguna variación en cuanto a los resultados e incluso se consideró la posibilidad de que el rendimiento de esta aumentara, sin embargo analizando los resultados se encuentra que este variante en el proceso no tuvo un efecto significativo como se esperaba, no obstante se puede considerar las ventajas que trajo consigo el utilizar la técnica teniendo en cuenta que no se contaba con el tiempo y los reactivos requeridos para los tratamientos posteriores al secado. Fue muy ventajoso aplicar la liofilización a dichas muestras ya que permitió mantenerlas depositadas herméticamente durante un periodo de tiempo sin sufrir alteraciones a la vista.

Siguiendo lo planteado para el cumplimiento de los objetivos se conocieron los valores para determinar la cinética de las muestras más representativas de acuerdo a esto se realizó el cuadro 30 con los valores encontrados para n y k, los cuales definen el orden de reacción y el coeficiente cinético respectivamente.

Cuadro 30

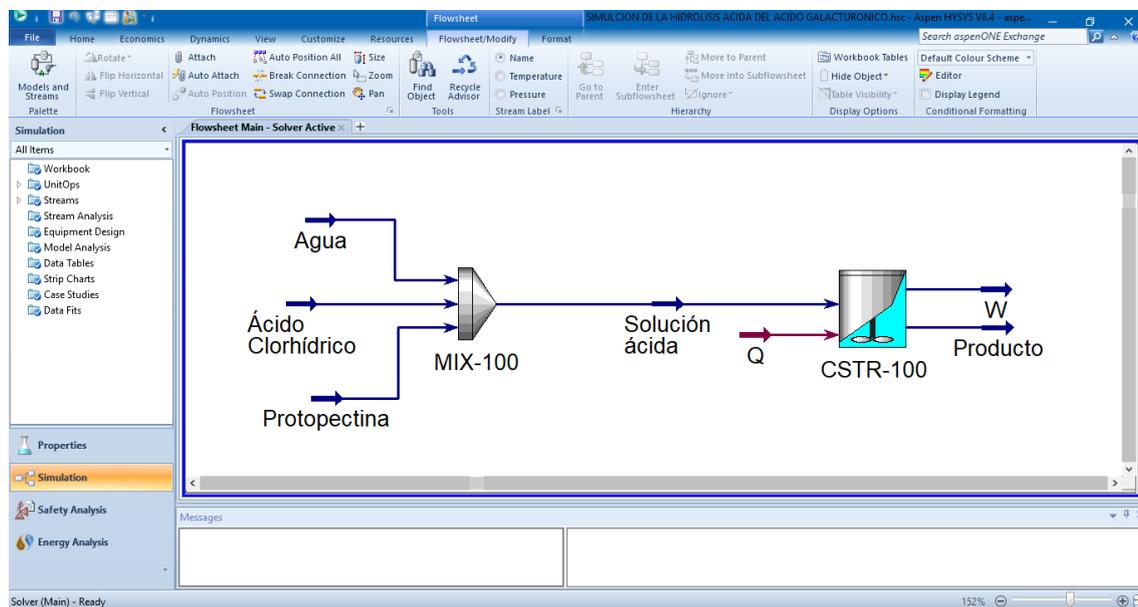
Ecuación cinética

Muestra	Cinética
Pectina comercial	$dCA/dt = 1,817CA^{1,617}$
N1	$dCA/dt = 1,247CA^{0,757}$
L1	$dCA/dt = 1,684CA^{0,857}$
L3	$dCA/dt = 0,243CA^{1,032}$

Fuente: Cálculos propios.

6. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA

Figura 15. Imagen de la simulación del proceso de hidrólisis ácida



Cuadro 31. Resultados de composición

Compositions						
	Producto	Agua	Ácido Clorhídrico	Solución ácida	Protopectina	W
Comp Mole Frac (H2O)	0,7306	1,0000	0,0000	0,9917	0,0000	0,9846
Comp Mole Frac (AGA*)	0,2694	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004
Comp Mole Frac (HCl)	0,0000	0,0000	1,0000	0,0079	0,0000	0,0151
Comp Mole Frac (Protopectina*)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	1,0000	0,0000

Cuadro32. Resultados de variables en cada corriente

Material Streams							
		Producto	Agua	Ácido Clorhídrico	Solución ácida	Protopectina	W
Vapour Fraction		0,0000	0,0000	1,0000	0,0078	0,0000	1,0000
Temperature	C	91,51	19,00	19,00	18,97	56,00	91,51
Pressure	kPa	74,39	74,30	74,39	74,30	74,39	74,39
Molar Flow	kgmole/h	2,868e-007	0,2991	2,387e-003	0,3016	1,153e-004	0,3037
Mass Flow	kg/h	0,1489	5,389	8,703e-002	5,576	0,1000	5,576
Liquid Volume Flow	m3/h	1,000e-004	5,400e-003	1,000e-004	5,559e-003	5,882e-005	5,603e-003
Heat Flow	kJ/h	-709,5	-8,581e+004	-221,0	-8,622e+004	-189,2	-7,211e+004

Mediante los parámetros reportados en el artículo de Nannoolal Yash *et al* fue posible determinar las propiedades termodinámicas del AGA (ácido galacturónico) y la Protopectina ya que el banco de componente del simulador Aspen Hysys v8.4-aspen ONE no cuenta con éste. Se utilizó la ecuación descrita por el autor, la cual fue muy útil ya que se logró determinar las propiedades

termodinámicas exigidas por el simulador para crear un componente hipotético, y así poder llevar a cabo la simulación representada en la figura 15. El siguiente recuadro encierra los valores determinados, teniendo en cuenta cada contribución de los grupos funcionales que conforman la molécula del principal componente de la pectina.

Cuadro 33. Variables utilizadas para crear componente hipotético

Grupo	OH	O	COOH	Resultados
Tb (K)	2,567	1,0245	5,1108	622,560156
Tc(K)	5,2188	2,7409	14,6038	842,486073
Pc (bar)	-0,005401	-0,000387	0,009885	6,09257453
Vc(cm3/mol)	30,61	17,69	90,66	230,79
H(kJ/mol)	-178,36	-137,353	-389,931	-1235,175
G(kJ/mol)	-144,051	-114,062	-337,09	-1062,323

Fuente: Cálculos propios.

Figura 16. Variables para determinar propiedades termodinámicas

Table 1 Selected function for each property		
Property (X)	Left-hand side of Eq. (1) (function f(X))	Right-hand side of Eq. (1) (group-contribution terms)
Normal melting point (T_m)	$\exp(T_m/T_{m0})$	$\sum_i N_i T_{m1i} + \sum_j M_j T_{m2j} + \sum_k O_k T_{m3k}$
Normal boiling point (T_b)	$\exp(T_b/T_{b0})$	$\sum_i N_i T_{b1i} + \sum_j M_j T_{b2j} + \sum_k O_k T_{b3k}$
Critical temperature (T_c)	$\exp(T_c/T_{c0})$	$\sum_i N_i T_{c1i} + \sum_j M_j T_{c2j} + \sum_k O_k T_{c3k}$
Critical pressure (P_c)	$(P_c - P_{c1})^{-0.5} - P_{c2}$	$\sum_i N_i P_{c1i} + \sum_j M_j P_{c2j} + \sum_k O_k P_{c3k}$
Critical volume (V_c)	$V_c - V_{c0}$	$\sum_i N_i V_{c1i} + \sum_j M_j V_{c2j} + \sum_k O_k V_{c3k}$
Standard Gibbs energy at 298 K (G_f)	$G_f - G_{f0}$	$\sum_i N_i G_{f1i} + \sum_j M_j G_{f2j} + \sum_k O_k G_{f3k}$
Standard enthalpy of formation at 298 K (H_f)	$H_f - H_{f0}$	$\sum_i N_i H_{f1i} + \sum_j M_j H_{f2j} + \sum_k O_k H_{f3k}$
Standard enthalpy of vaporization at 298 K (H_v)	$H_v - H_{v0}$	$\sum_i N_i H_{v1i} + \sum_j M_j H_{v2j}$
Standard enthalpy of fusion (H_{fus})	$H_{fus} - H_{fus0}$	$\sum_i N_i H_{fus1i} + \sum_j M_j H_{fus2j} + \sum_k O_k H_{fus3k}$
Values of the additional adjustable parameters		
Adjustable parameter (universal constants)	Value	
T_{m0}	147.450 K	
T_{b0}	222.543 K	
T_c	231.239 K	
P_{c1}	5.9827 bar	
P_{c2}	0.108998 bar ^{-0.5}	
V_{c0}	7.95 cm ³ /mol	
G_{f0}	-34.967 kJ/mol	
H_{f0}	5.549 kJ/mol	
H_{v0}	11.733 kJ/mol	
H_{fus0}	-2.806 kJ/mol	

Fuente: Tomado de Nannoolal Yash (2001) p.190

El modelo termodinámico SRK se eligió basándose en las propiedades del componente hipotético (Ácido galacturónico) debido a que este tiene las

propiedades de un polímero; el reactor simulado es el idóneo para este proceso ya que la obtención de la pecina requiere de una agitación constante además de que la condición de operación fue en fase líquida.

CONCLUSIONES

En general se puede concluir que el proceso de obtención de pectina desarrollado no se ve afectado por la liofilización; sin embargo, contribuyó en el proceso alargando el tiempo para llevar a cabo la etapa posterior a este, pues se pudo almacenar sin haber daños en las muestras hasta que se realizó la hidrólisis ácida; hecho que no hubiera podido darse ya que al estar las muestras húmedas por un determinado periodo de tiempo estas hubieran sido dañadas a causa de moho.

La pectina extraída a partir de estas frutas si tiene las características deseadas para ser obtenida y comercializada, por lo que sería una forma viable de aprovechar esa materia prima. Los procesos tratados con el albedo tanto de la naranja, como el del limón, constituyen el insumo más adecuado, para la etapa de concentración del extracto pectínico en la tecnología de obtención de pectina, a partir de cortezas de limón. Esta alternativa elimina la necesidad de agentes precipitantes de pectina utilizados en el proceso convencional.

Las condiciones del albedo, resultó adecuada para el proceso ya que se retuvo como concentrado la totalidad de las sustancias pécticas. Además, un adecuado programa de limpieza permite restablecer la permeabilidad del albedo, caída como consecuencia de la resistencia debido a la capa de polarización que aparece en cada experiencia.

Se compararon los resultados fisicoquímicos con los reportados por Salomón Ferreira y se encontró semejanza entre estos.

Los resultados muestran que la fibra obtenida presenta excelentes propiedades gelificante, se plantea la necesidad aplicar los medios para optimizar la etapa de secado una vez obtenida la fibra.

Realizar estudios sobre este tipo de productos llena de motivación en cuanto a los beneficios que proporciona y el conocimiento que se adquiere en la medida que se estudia y se realizan los respectivos ensayos que se requieren para realizar la investigación.

Para determinar las propiedades termodinámicas de moléculas poliméricas es suficiente con conocer su estructura molecular ya que esta permite mediante parámetros conocidos determinar sus variables.

RECOMENDACIONES

Desarrollar la etapa de hidrólisis ácida, con un alto control del vapor generado en el proceso, para evitar pérdida del material tratado, además de la inhalación del mismo.

A pesar de trabajar a escala laboratorio el residuo de alcohol es demasiado alto, por lo que sería útil trabajar un proceso simultaneo en el que se aproveche este reactivo.

Para trabajos posteriores se recomienda trabajar con el albedo, debido a que esto garantiza obtener una pectina de color blanco.

Tener en cuenta el tamaño del albedo, debido a que influye en el rendimiento ya que grandes tamaños se precipitan y pequeños tamaños, forman aglomerados dificultando la filtración.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Libros y trabajos académicos

Arias, F. (2006). El Proyecto de la Investigación. Guía para su Elaboración. Caracas, Episteme, tercera edición.

Balestrini, M. (2001). Como se Elabora el Proyecto de Investigación. Caracas. Editorial Consultores Asociados (BL).

Cerón Salazar, I. Cardona Álzate, C. (2010). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, Manizales, Colombia. Revista de Ingeniería y Ciencia, volumen 7, N° 13, 2011.

Chasquibol Silva, N.; Arroyo Benites, E. y Morales Gomero, J. C. (2008). Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. Universidad de Lima, Perú. Revista de Ingeniería Industrial, N° 26, 2008.

Flórez Montes, C. y Rojas González, A. F. (2018). Aprovechamiento potencial de residuos de la agroindustria caldense según su composición estructural. Universidad Militar Nueva Granada.

García Montoya, C. y Penagos Gómez, C. E. (2011) El entorno comercial de la pectina en la industria alimentaria antioqueña. Escuela de Ingeniería de Antioquia

Hernández G., M. S. y Barrera G., J. A. (2004). Bases técnicas para el aprovechamiento agroindustrial de especies. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas "SINCHI".

Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P (2007). Metodología de la Investigación. Editorial Mc Graw Hill.

- Mamani Crispín, P. L.; Ruiz Caro, R. y Veiga, M. D. (2012). Pectina: usos farmacéuticos y aplicaciones terapéuticas. Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia. volumen 78, Núm. 1.
- Matos Chamorro, R. A. y Chambilla Mamani, E. (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. Universidad Peruana Unión. Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos, volumen 1, Núm. 1 (2010).
- Muñoz López, C.; Urrea García, G. R.; Jiménez Fernández, M.; Rodríguez Jiménes, G. del C. y Luna Solano, G. (2018). Efecto de las condiciones de liofilización en propiedades fisicoquímicas, contenido de pectina y capacidad de rehidratación de rodajas de ciruela ("*Spondias purpurea*" L.). Universidad Veracruzana, México. Revista Agrociencia, volumen 52, Nº 1, 2018.
- Navarro García, G. y Navarro García, S. (1985). Sustancias pécticas: química y aplicaciones. Editorial EDITUM.
- Ortiz Quintero, B. L. y Anzola Velasco, C. (2018). Estudio del efecto fisiológico del consumo de arepas enriquecidas con pectina extraída de la cáscara de curuba (*Passiflora tripartita var. mollissima*). Revista Colombiana de Química, volumen 47, Número 2, 2018.
- Rascón Chu, A.; Martínez López, A. L.; Carvajal Millán, E.; Martínez Robinson, K. G y Campa Mada, A. C. (2015) Gelificación iónica de pectina de bajo grado de esterificación extraída de manzanas inmaduras de raleo. Revista Fitotec, México, volumen 39, 2016.
- Regnault, V. (1853). Curso elemental de química para el uso de las universidades, colegios y escuelas especiales, Volumen 4. Editorial Imprenta de Crapelet.

- Torres Basante, N. R. (2006). Determinación del potencial nutritivo y nutracéutico de cuatro cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav). INIAP Archivo Histórico.
- Trejo Márquez, M. A.; Lira Vargas A. A. y Pascual Bustamante. S. (2016). Fibra para el futuro: propiedades y beneficios. En M.E. Ramírez Ortiz (Ed.). Alimentos Funcionales de Hoy. Barcelona, España: OmniaScience.
- Umaña Zamora, M. M. (2016). Cinéticas de extracción y caracterización de pectinas de los subproductos de naranja mediante asistencia acústica. Universitat de les Illes Balears, España.
- Urango Anaya, K. J.; Ortega Quintana, F. A.; Vélez Hernández, G. y Pérez Sierra, O. A. (2018). Extracción rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (*passiflora edulis flavicarpa*) empleando microondas. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Revista Información Tecnológica, volumen 29, N° 1, 2018.
- Yuste Puigvert, J. y Garza, S. (2003). Los geles de pectina y su aplicación en la industria alimentaria. Revista de tecnología e higiene de los alimentos, N° 342, 2003.
- Ferreira A Salomón. (1976). Aislamiento y caracterización de las pectinas de algunas variedades de frutos cítricos colombianos. Revista colombiana de ciencias químico – farmacéuticas. Volumen 3, N° 1, 1976.
- McCOMB, E. A. y McCREADY, R. M.(1952). Colorimetric determination of Pectic Substances, Anal. Chem.; Volumen 24, 1952.
- Nannoolal Yash, Rarey Jurgen and Ramjugernath Deresh.(2008). Estimation of pure component properties Part 3. Estimation of the vapor pressure of non electrolyte organic compounds via group contributions and group interactions, Fluid Phase Equilibria, ISSN 0378-3812, 269 117-133 (2008).

Reginald H ;Walter. (1991).The Chemistry and technology of Pectin: Function of Pectin in Plant Tissue Structure and Firmness. EUA. Academic Press, Inc. 1991.

Patel,Sajal Manubhai y Pikal,Michael J.(2013).Lyophilization Process Design Space.Journal of Pharmaceutical Sciences, Vol. 102, (2013)

Material en línea

Clemente, E. (2012). La pectina, qué es y sus usos en repostería. [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en: <https://www.directoalpaladar.com/ingredientes-y-alimentos/la-pectina-que-es-y-sus-usos-en-reposteria>

Colpensa (2017). Colombia, el tercer país latinoamericano con mayores hectáreas cultivadas de fruta. [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en:<https://www.elheraldo.co/economia/colombia-el-tercer-pais-latinoamericano-con-mayores-hectareas-cultivadas-de-fruta-409223>

FAO (1995). Sistema Internacional de Numeración de los Aditivos Alimentarios. [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en: http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCFAC/ccfac32/INS_s.pdf

Méndez, A. (2013). Esterificación. [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en: <https://quimica.laguia2000.com/reacciones-quimicas/esterificacion>

Pagan i Gilabert, J. (2001). Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón. Universitat de Lleida. [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8370/jpagan.pdf>

QuimiNet (2011). Conozca las diferentes aplicaciones de la pectina en la industria alimenticia. [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en: <https://www.quiminet.com/articulos/conozca-las-diferentes-aplicaciones-de-la-pectina-en-la-industria-alimenticia-2653163.htm>

Seo Negativo (2018). Regiones de Colombia. [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en: <https://seonegativo.com/mapa-de-colombia-con-departamentos.html>

Silvateam (s.f.) ¿Qué es la pectina? [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en: <https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/aditivos-alimentarios/pectina/qu-es-la-pectina.html>

Terán Montalván, J.H. (2015). Obtención de pectina a partir de la cascara de limón. [Consulta realizada el 21 de febrero de 2019] Disponible en: <https://prezi.com/gwhapg8bu9ns/obtencion-de-pectina-a-partir-de-la-cascara-de-limon-en-la-c/>