

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La producción nacional de frutas, genera una gran cantidad de residuos orgánicos provenientes de cáscaras, bagazos, semillas, etc., de las diferentes aplicaciones que tienen las frutas, ya sea para su consumo en fresco o su uso en la industria alimenticia (de forma industrial y artesanal).

Estos residuos pueden contener algunas sustancias de interés para la industria, que al ser extraídos crean otros subproductos de gran utilidad y alto valor adquisitivo, como son los colorantes, edulcorantes, aceites esenciales, pectinas y aditivos entre otros.

De la cáscara de muchos de los vegetales se puede obtener pectina, que es un excelente agente gelificante, estabilizante y espesante.

La pectina es el principal componente enlazante de la pared celular de los vegetales y frutas y tiene la propiedad de formar geles en medio ácido y en presencia de azúcares. Por este motivo, es utilizada en la industria alimenticia en combinación con los azúcares como un agente espesante, por ejemplo, en la fabricación de mermeladas, jaleas y confituras, así como en la estabilización de bebidas, se obtiene de materias vegetales, tales como manzanas, frutas cítricas, piña, guayaba dulce, tomate, maracuyá y remolacha. Los subproductos de la industria de zumos de frutas, bagazo de manzanas y albedos de cítricos (limón, limón verde, naranja, toronja), constituyen básicamente las fuentes industriales de pectinas.

Tabla I-1. Rendimiento de Pectina

FRUTO	% PECTINA
Cítricos	20-35%
Manzana	10-15%
Girasol	15-25%
Remolacha	10-20%
Maracuyá	15-20%

Fuente: Química y Bioquímica de los Alimentos II

Bolivia importa pectina de muchos países entre los que se tiene a México, Suiza, Dinamarca, Brasil; en el año 2014, la importación de pectina en Bolivia ascendió a 32 toneladas, generando altos costos por concepto de importación.

Tabla I-2: Importaciones Nacionales de Materias Pécticas (2018 – 2020)

	2018	2019	2020
Exportadores	Cantidad importada, Toneladas	Cantidad importada, Toneladas	Cantidad importada, Toneladas
China	0	1	2
Dinamarca	3	6	5
México	3	1	1
Brasil	1	2	7
Alemania	0	0	5

Fuentes: Cálculos del CCI basados en estadísticas de UN COMTRADE. TRADE MAP. 2022

Actualmente en el país no existe información disponible acerca de industrias dedicadas a la producción de pectina, al menos no de manera industrial, por lo que se recurre al mercado internacional para adquirir esta materia prima, la cual tiene un alto valor

comercial (11,8 \$us los 100 gr), a pesar de que a nivel industrial proviene de desechos o productos subvalorados como cáscara de frutas. (Estadísticas del Comercio para el Desarrollo Internacional de las Empresas ITC, 2022)

Tabla I-3: Valores de la Importación Nacional de Materias Pécticas (2018-2020) en miles de dólares americanos

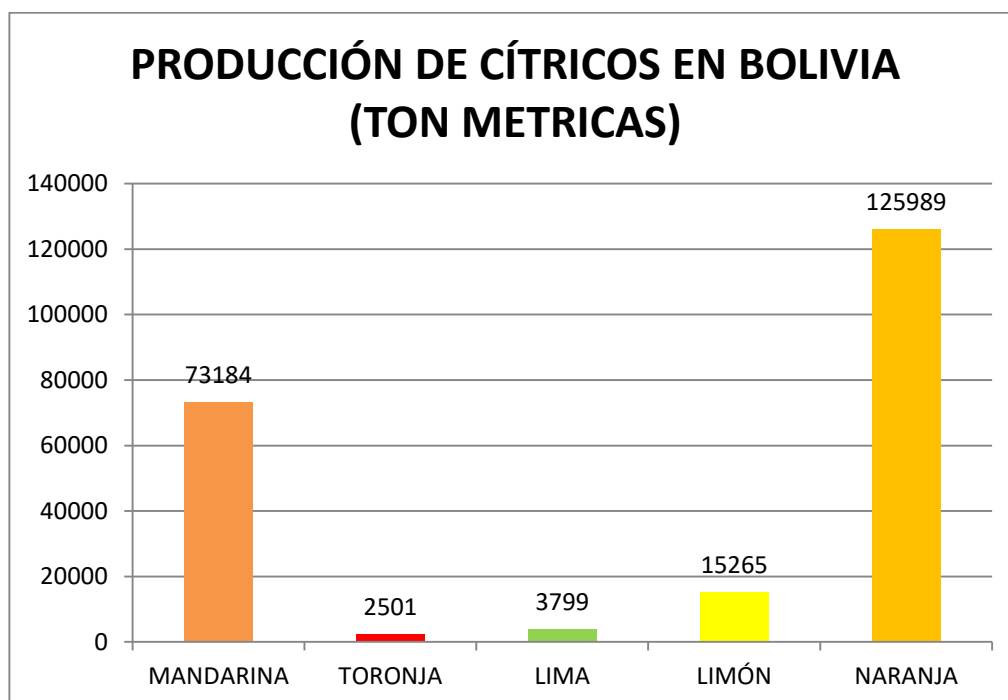
Exportadores	Valor importado en 2018	Valor importado en 2019	Valor importado en 2020
Mundo	127	155	248
Dinamarca	49	91	83
México	64	22	22
China	0	13	25
Brasil	15	29	103
Alemania	0	0	14
España	0	0	2
Suiza	0	0	0

Fuentes: Cálculos del CCI basados en estadísticas de UN COMTRADE. TRADE MAP. 2022

Es así que la presente investigación pretende dar un uso sustentable a los residuos de cáscaras de naranja, provenientes de la elaboración de zumos y de esta manera generar un nuevo producto útil para la industria y darle un valor agregado a este fruto tan comercializado en el país.

En Bolivia la producción de cítricos alcanza las 220738 Ton métricas, de acuerdo al último Censo Agropecuario 2013 realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), de las cuales el 57,1% (125.989 Ton métricas) corresponden a la producción de naranja.

Figura 1-1. Producción de Cítricos en Bolivia INE 2013



Fuente: INE para Censo Agropecuario 2013*

(*) Es importante mencionar que el último Censo Agropecuario en Bolivia se ha realizado en 2013.

Los principales departamentos productores de cítricos son: La Paz específicamente en la zona de los Yungas, Cochabamba en la zona del Chapare, Santa Cruz y Tarija. El abastecimiento de los cítricos es estacional por lo que es discontinuo a lo largo del año, dependiendo de las condiciones climatológicas y la épocas de cosecha.

Tarija gracias a su clima se ha convertido en una zona productora de frutas por excelencia. La mayor producción de frutas cítricas en el departamento está localizada en las provincias:

- Gran Chaco
- Arce
- O'Connor

La producción de naranja en Tarija dependiendo de las variedades cultivadas inicia en los meses de mayo y junio y finaliza entre septiembre y noviembre como se puede ver en el siguiente cuadro. (Equipo CETHA-Emborozú y Facultad de Agronomía UAJMS 2020.)

Tabla I-4. Variedades de cítricos comercializados en Tarija

CÍTRICO	VARIEDAD	COSECHA	ÉPOCA
Naranja	Criolla	Temprana	Mayo-junio
	Jaffa	Intermedia	Julio-agosto
	Valencia	Tardía	Septiembre-noviembre
Mandarina	Criolla	Temprana	Mayo-julio
	Satsuma	Intermedia	Junio-agosto
	Malvaceo	Tardía	Julio-septiembre
Limón	Eureka		Todo el año
Pomelo	Thompson	Intermedia	Julio-agosto
Lima		Intermedia	Mayo-agosto

Fuente: Elaboración Equipo CETHA-Emborozú y UAJMS (2020).

1.2.OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Obtener pectina en polvo a partir del albedo de cáscara de naranja.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Acondicionar la materia prima recolectada, con el fin de separar el albedo de las impurezas de la cáscara de naranja y favorecer el rendimiento de obtención de pectina.
- Caracterizar la calidad de la materia prima mediante el análisis fisicoquímico del albedo de la cáscara de naranja.
- Definir la concentración de ácido cítrico necesaria para realizar la hidrólisis ácida.
- Seleccionar el proceso más adecuado para la extracción de pectina cítrica en polvo.
- Establecer las variables óptimas de extracción de pectina cítrica en polvo y el rendimiento de obtención del proceso.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la pectina obtenida para su uso en la industria.
- Establecer la calidad del producto obtenido

1.3. JUSTIFICACIÓN

En nuestro país no hay información disponible acerca de producción industrial de pectina, por lo que se recurre al mercado internacional para adquirir este producto, el cual tiene un alto valor comercial a pesar de que se obtiene de desechos subvalorados como cáscara de frutas.

La producción de cítricos en Tarija alcanza las 10263 Ton Métricas (Encuesta Nacional Agropecuaria del 2015) de las cuales, 5024,56 Ton son únicamente de producción de naranja.

Tabla I-5. Producción de Cítricos en Tarija ENA 2015

CULTIVO	PRODUCCIÓN (TON METRICAS)
LIMA	356,31
TORONJA	324
NARANJA	5024,56
LIMON	1502,18
MADARINA	3055,95

Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2015*

(*) la última Encuesta Nacional Agropecuaria ha sido realizada en el año 2015

Sin embargo, una parte de la producción de naranjas está sujeta a pérdidas, es decir, que a pesar de que la calidad de la fruta sea la adecuada, la sobreproducción de la misma en épocas específicas del año hace que la oferta sea mayor que la demanda, dejando mucho producto a descomposición a pesar de los precios rebajados de la fruta en el mercado.

Esto hace que los agricultores se vean en la necesidad de descartar el producto sin percibir ingresos por dicha producción. Para reflejar el estado de la producción de cítricos en el departamento se muestra a continuación la siguiente tabla:

Tabla I-6: Porcentaje del destino de la producción de Cítricos Tarija ENA 2015

Producto	Total	Consumo		Reservado para semilla	Para la transformación	Pérdidas	Ventas al mercado		otros
		Del hogar	Animal				Nacional	Exterior	
Lima	100	0.41	0	0	0	0	99.59	0	0
Limón	100	0.92	0	0	0,04	0	99.01	0	0.04
Mandarina	100	2.25	0	0	0.73	0.61	96.19	0	0.02
Naranja	100	27.76	0.35	0	0.07	0.85	70.86	0	0.12

Fuente: Elaboración propia con datos de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2015

Es así que el fruto de la naranja únicamente está destinado a su consumo en fresco, y no sufre ninguna transformación o industrialización para darle un valor agregado y que los agricultores puedan adquirir mayor beneficio de su producción.

Los residuos generados de las frutas cítricas empleadas en la elaboración de concentrados contribuyen a la contaminación del medio ambiente; así también, la acumulación de residuos orgánicos a la intemperie se convierte en un problema sanitario que ayuda a la proliferación de insectos, hongos, bacterias y olores de descomposición. El hecho de no controlar la eliminación de residuos biodegradables, puede causar varios problemas adicionales, entre ellos, la liberación generalizada de gases de efecto invernadero que afectan la salud de la población por el fortalecimiento de los agentes patógenos. (Comisión Nacional de Medio Ambiente, Santiago de Chile, 1998.)

Esta investigación aplicada, pretende aprovechar de manera óptima los residuos de las frutas cítricas que se desechan en la elaboración de zumos, transformando su cáscara en un subproducto con alto valor agregado como lo es la pectina (producto muy requerido en la industria), y así disminuir el impacto negativo al medio ambiente producido por los desechos generados por la alta producción, además de generar ingresos económicos adicionales para la región y en un futuro evitar importar este producto de otros países, beneficiando a la economía local y nacional.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DE LA NARANJA

2.1.1. HISTORIA Y ORIGEN DE LA NARANJA

El fruto del naranjo se originó hace miles de años en la región sur de China a Indonesia. Se empezaron a cultivar en China hace unos 4.000 años, sin embargo, en la información de la literatura china sobre este fruto los primeros escritos datan del año 2000AC. (2019, *Infoagro, Cultivo de Cítricos*)

Aunque se sabe que Alejandro Magno fue quien introdujo la mayoría de los cítricos a Oriente, no se conoce con exactitud quien introdujo el fruto a Europa vía extremo oriente. Las naranjas dulces se introdujeron en Europa alrededor del siglo XV por varios grupos, incluyendo a los moros y los portugueses, así como los comerciantes italianos, y los exploradores que encontraron en sus viajes a Asia y el Oriente Medio. Las naranjas comenzaron a ser cultivadas en las islas del Caribe en el siglo XV cuando Cristóbal Colón llevó semillas de este fruto en su segundo viaje al Nuevo Mundo. Los exploradores españoles son responsables de llevar naranjas a la Florida en el siglo XVI, mientras que los misioneros españoles fueron los que llevaron las naranjas a California en el siglo XVIII. A partir del cultivo de este cítrico en los dos estados de Estados Unidos que tienen la mayor cantidad de cultivos de naranjas. (2019, *Infoagro, Cultivo de Cítricos*)

En Bolivia los cítricos fueron introducidos por los españoles y árabes, especialmente los comerciantes de la época, a zonas como Tarija, La Paz (Los Yungas), parte de Chaco chuquisaqueño (Huacareta, Rosario del Ingre, Monteagudo, San Juan del Piraí), de ahí se extendió a otros departamentos del país como Cochabamba (El Chapare) y Santa Cruz. (2012, *Compendio Agropecuario, La Paz, Bolivia*).

2.1.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA NARANJA

Las naranjas son el fruto del árbol de naranjo, perteneciente al género *Citrus* de la familia de las Rutáceas, las especies de este género son arbustos o árboles de color verde, con hojas simples y coriáceas y pecíolos generalmente alados, flores blancas y fragantes, se forman en brotes que se producen a través de yemas localizadas en las axilas de las hojas. Son cultivos perennes, de crecimiento erecto ramificado que crecen hasta 12 m de alto y 25 cm. de diámetro dependiendo de la especie, produce desde los 3 hasta los 5 años dependiendo de su propagación. (Baraona, Sancho, 2008)

Esta familia comprende más de 1.600 especies. El género botánico *Citrus* es el más importante de la familia y consta de unas 20 especies con frutos comestibles, todos abundantes en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Tienen la pulpa formada por muchas vesículas llenas de jugo. (Baraona, Sancho, 2008)

Este fruto se desarrolla de forma óptima en zonas de clima cálido y templado siendo el continente africano donde más especies se pueden encontrar. (Baraona, Sancho, 2008)

2.1.2.1. TAMAÑO Y PESO DE LA NARANJA

Tienen un diámetro de 6 a 10 centímetros. Las naranjas son de los frutos de menor tamaño. Su peso está entre los 150 gramos y 250 gramos. (2019, *Infoagro, Cultivo de Cítricos*)

Figura 2-1. Características físicas de la naranja



Fuente: Infoagro 2021

2.1.2.2. FORMA

Las naranjas tienen forma de esfera y son chatas por los polos.

2.1.2.3. COLOR

La cáscara de la naranja es muy coloreada y presenta un anaranjado intenso, puede ser lisa o rugosa, dependiendo de la variedad. Debajo de ella, se encuentra una segunda piel que es de color blanco y que envuelve el fruto protegiendo la pulpa, la cual es muy esponjosa, misma que es la materia prima de esta investigación aplicada denominada albedo.

2.1.2.4. SABOR

La pulpa contiene entre 8 y 12 gajos alargados y curvos, estos proporcionan un abundante jugo de sabor dulce con matices ácidos, más o menos fuertes dependiendo de la variedad.

2.2. TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA DE LA NARANJA

2.2.1. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

Citrus × sinensis, el naranjo, naranjero o naranjo dulce, es un árbol frutal del género *Citrus*, que forma parte de la familia de las rutáceas.

El naranjo puede reproducirse por germinación de una semilla, por trasplante de una estaca o por acodo, es decir, partiendo de una raíz. En cualquier caso, ha de transcurrir un cierto tiempo en el vivero o plantel antes de pasar al huerto o naranjal.

Tabla II-1. Descripción taxonómica del naranjo

DESCRIPCION TAXONÓMICA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Sapindales
Familia	Rutaceae
Género	Citrus

Especie	C. × sinensis
---------	---------------

Fuente: Wikipedia 2022

2.2.2. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

2.2.2.1. ÁRBOL

El naranjo, es un árbol frutal perenne del género *Citrus*, que forma parte de la familia de las rutáceas. Se trata de un árbol de porte mediano que dependiendo la forma de cultivo puede llegar a medir de 6 m a 10 m de altura como máximo.

Presenta una copa grande, redondeada, un solo tronco, derecho y cilíndrico, verdoso primero y gris después, el tronco es corto y ligeramente espinoso. Las ramas aparecen a un metro del suelo y son poco vigorosas.

Figura 2-2: Características del árbol del naranjo



Fuente: Infoagro 2021

2.2.2.2. RAÍZ

Presenta raíces profundas, dependiendo del tipo de suelo y del patrón utilizado, necesitan buena oxigenación del suelo. La profundidad es muy importante ya que la parte activa puede tener una profundidad de hasta 1,5m. Cabe mencionar que el drenaje

es muy importante para la productividad del cultivo. (Mejía, J, Mejía, A., Taipicaña M. 2015).

Figura 2-3. Morfología de la raíz del árbol de naranjo



Fuente: Mejía, J, Mejía, A., Taipicaña M. 2020.

2.2.2.3. HOJAS

Las hojas son perennes, medianas y alargadas, con base redondeada y terminadas en punta. Miden entre 7 y 10 cm, de margen entero, frecuentemente elípticas y agudas. Presentan el limbo grande y el pecíolo provisto de alas pequeñas y estrechas. Mejía, J, Mejía, A., Taipicaña M. (2015).

Figura 2-4. Morfolgía de las hojas del árbol de naranja



Fuente: Mejía, J, Mejía, A., Taipicaña M. 2020.

2.2.2.4. FLORES

Sus flores blancas, llamadas azahar, nacen aisladas o en racimos y son sumamente fragantes. Presentan un tamaño mediano y son hermafroditas. Son pentámeras y su fruto es la naranja dulce.

Figura 2-5. Morfología de las flores del árbol de naranja



Fuente: Mejía, Taipicaña, 2020

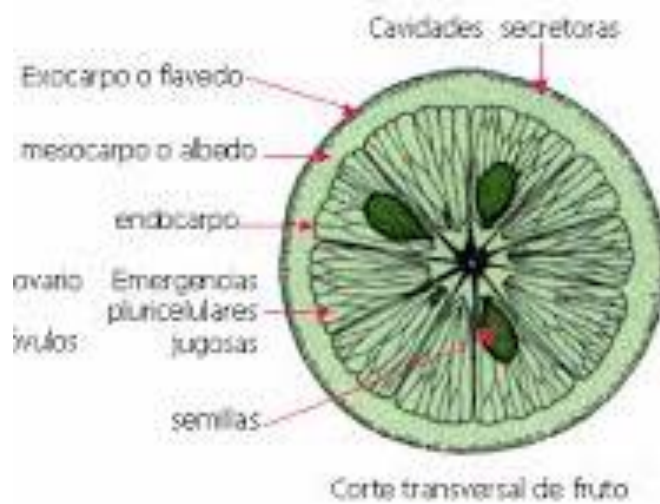
2.2.2.5. FRUTO

El fruto, la naranja, es un hesperidio carnoso de color amarillo anaranjado con forma redondeada y achatada en los polos. La cáscara es muy coloreada puede ser lisa o rugosa, dependiendo de la variedad.

El fruto consta de tres partes:

- Exocarpo
- Epicarpio o flavedo
- Mesocarpo o albedo

Figura 2-6. Morfología del fruto



Fuente: citrusricus.com 2023

2.2.2.5.1. EPICARPIO O FLAVEDO

Se le llama así a la corteza de la parte exterior de la naranja. El tono anaranjado de la misma se obtiene a causa de los pigmentos que están en la cáscara. Antes de que se realice el proceso de maduración, la clorofila pinta la piel verde y luego los carotenoides le proporcionan el color naranja. Estos carotenoides son los pigmentos orgánicos que están naturalmente en las plantas y en organismos fotosintéticos. Otra

característica importante de la piel es que en las pequeñas burbujas hay aceites esenciales, importantes pues le otorgan aroma a la fruta. Normalmente, la corteza se usa muy fresca o muy seca para las infusiones, decoración, pastelería y otros diversos usos. (López, V., 2014)

2.2.2.5.2. MESOCARPIO O ALBEDO

El albedo o Mesocarpio es la parte blanca de la cáscara de la naranja. Es un tejido esponjoso, blanco y celulósico ubicado en la parte interna de la piel de la naranja, presenta un sabor amargo y está constituido principalmente por celulosa, hemicelulosa y abundante en pectina, que es una fibra vegetal. (López, V., 2014)

2.2.2.5.3. ENDOCARPIO O PULPA

El endocarpio o pulpa es la parte comestible del fruto, está formado por un aproximado de 8 a 12 gajos separados por membranas intercapilares, que en su interior albergan vesículas en forma de huso las cuales contienen el jugo rico en vitamina C. (López, V., 2014)

2.2.2.5.4. SEMILLAS

Las semillas son el órgano lignocelulósico de cubierta dura que se encuentra en la parte interior y central de la naranja. Se caracterizan por su sabor amargo y por producir un aceite de tonalidad amarilla que es abundante en hesperidina, limonoides y en ácidos grasos. (López, V., 2014)

2.3. VARIEDADES DE NARANJA

2.3.1. CLASIFICACIÓN GENERAL

Este fruto se produce de forma óptima en zonas de clima cálido y templado, es así que las diferentes variedades dependen del clima y las características del suelo, siendo el continente africano donde más especies se pueden encontrar. Las naranjas se clasifican en dos categorías generales:

- Dulces

- Amargas

2.3.1.1. DULCES (son las más consumidas)

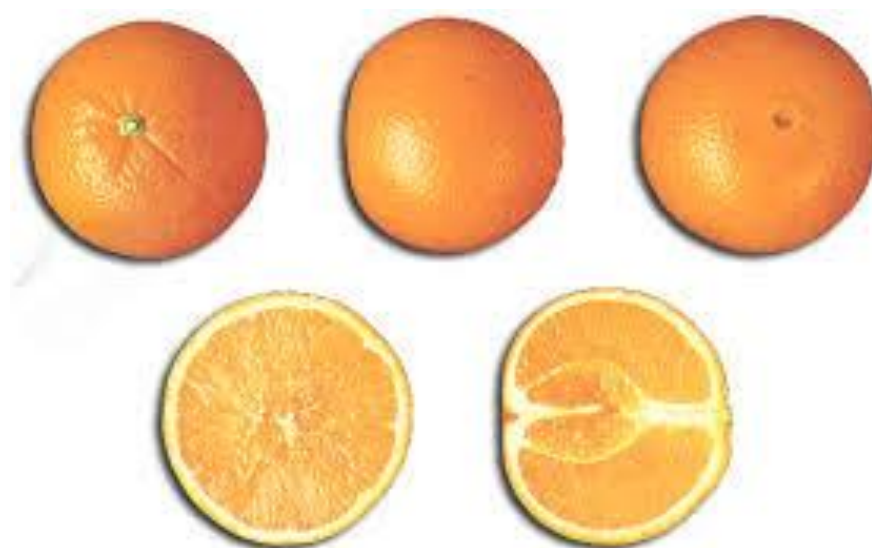
Dentro de esta categoría de naranjas dulces (*Citrus sinensis*) se encuentran tres grupos:

- Navel o de ombligo
- Blancas o comunes
- Sanguíneas

2.3.1.1.1. NARANJA NAVEL O DE OMBLIGO

Esta variedad se caracteriza por ser temprana y muy dulce, se produjo por una mutación espontánea en 1820 en Brasil, aunque posee varios nombres entre ellos California. De allí curiosamente se volvió a exportar a Europa. Es una variedad muy carnosa no tan apta para zumos porque al exprimirlas desprende un ligero amargor. Son de gran tamaño, de un color naranja intenso, fáciles de pelar y sin pepitas. Sin embargo, son más sensibles a condiciones adversas que los otros grupos. La variedad más importante y la más extendida hoy por hoy de éste grupo son las Washington Navel por sus características ideales (dulzor, acidez, tamaño y color). Es la variedad de tamaño más grande, con forma circular, piel lisa, con una recolección amplia que comienza en mayo, según la zona de cultivo y su clima. (Iniesta, J., 2016)

Figura 2-7. Naranja Navel o de ombligo



Fuente: Cítricos Magazine 2021

2.3.1.1.2. NARANJAS BLANCAS COMUNES

Tienen un buen color y son ideales para la industria del zumo, aunque también hay algunas variedades para mesa. De aspecto son similares todas ellas, son tantas las variedades existentes, que no hay un patrón general para definir las. (González, C. 2014)

2.3.1.1.2.1. VALENCIA

Es la naranja blanca más dulce del mercado y por tanto la más explotada. Probablemente de origen portugués, aunque hay algunas teorías que puntualizan que no. Variedad ligeramente alargada, de corteza fina y de un precioso naranja intenso, posee un ligero toque ácido que las diferencia de las Navel, es muy dulce y jugosa. Es aromática, ideal para postres, fácil de pelar. Puede presentar semillas, pero pocas, de 2 a 4 aproximadamente. Ideal para zumo ya que la piel que envuelve los gajos es dura, así que es ideal para la industria que comercializa zumos. Se la encuentra desde septiembre por lo que es tardía. (González, C. 2014)

Figura 2-8. Naranja Valencia



Fuente: <http://naranjasyfrutas.com> 2021

2.3.1.1.2.2. SALUSTIANA

Es la segunda variedad en importancia dentro del grupo de las blancas. El fruto es de tamaño medio a grande, de corteza algo rugosa y algo achatada, empiezan a madurar entre los meses de mayo y junio por lo que son precoces. Presentan muy pocas semillas, en caso de poseerlas y su sabor es dulce e ideal para zumos e industria por su gran cantidad de zumo. (González, C. 2014)

Figura 2-9. Naranja Salustiana

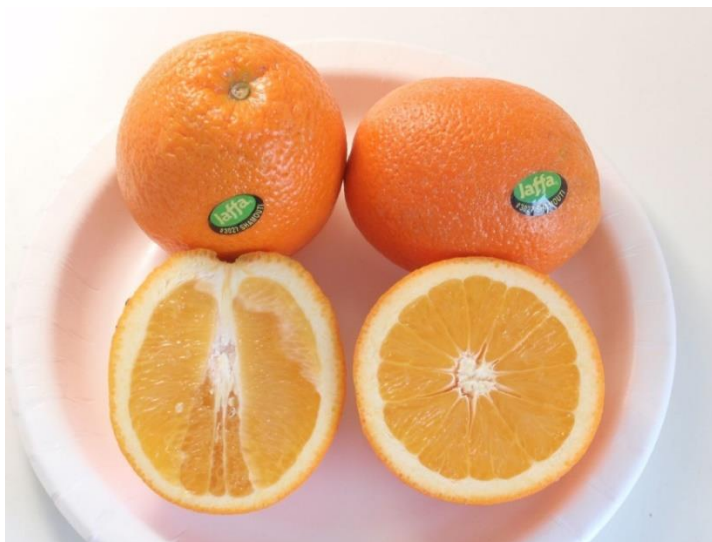


Fuente: <https://www.hipercor.es>, 2021

2.3.1.1.2.3. NARANJAS DE JAFFA

Las naranjas de Jaffa o Shamouti son las más fáciles de pelar. Tienen un sabor rico y dulce, pero su zumo es escaso. Comienzan a madurar entre los meses de julio y agosto. (2009, Infoagro, *Cultivo de Cítricos*)

Figura 2-10. Naranja de Jaffa o Shamouti



Fuente: <http://citruspages.free.fr/appelsiinit.html>, 2021

2.3.1.1.3. NARANJAS PIGMENTADAS O SANGUÍNEAS

Es un fruto pequeño o mediano, posee pocas semillas y la corteza es fina y brillante, con zonas de un color rojo intenso, muy agradable a la vista. Zumo dulce aunque algo agrio, y sólo se encuentra en los meses más fríos del año. Muy apreciada para zumos. Las variedades Sanguinelli y Tarocco Siciliana son consideradas de las mejores variedades del mundo. (Ancillo, G., Medina, A. 2014)

Figura 2-11. Naranja Pigmentada o Sanguina



Fuente: <http://lifestyle.liputan6.com>, 2020

2.3.1.2.NARANJAS AMARGAS (*Citrus x Aurantium*)

Las naranjas amargas (*Citrus x Aurantium*) a menudo se utilizan para hacer confituras, esencias, mermeladas, y su esencia sirve para dar sabor a licores como Cointreau y Grand Marnier.

Muchas variedades de naranja amarga se usan por su aceite esencial, para perfume y saborizante, o como medicinal. Es conocida también con el nombre de naranja agria.

Este fruto es empleado para la elaboración de mermeladas, licores Triple sec y Curaçao. De estas naranjas, también se obtiene aceite esencial, para aceite neroli, de sus flores y por destilación se obtiene agua de azahar, componente de muchas marcas de perfume y de té. (Ancillo, G., Medina, A. 2014)

Figura 2-12. Naranja amarga



Fuente: <http://www.jardin-mundani.es/citricos.htm>, 2021

2.3.1.2.1. QUINOTO

Otra variedad dentro de las naranjas amargas es *C x Aurantium* var. *myrtifolia*. Llamado naranjo moruno en España y Chinotto, en Italia. Es nativo de China.

El árbol del quinoto es de hoja perenne y puede alcanzar de dos a cuatro metros de altura, el color de las ramas es verde claro y las hojas son simples, de color verde oscuro y brillantes. Crecen flores blancas dulcemente perfumadas.

Su fruto es un hesperidio pequeño, de piel aromática y pulpa ácida, la piel es color amarillo dorado cubierta de glándulas oleosas, es carnososa, gruesa y comestible. La capa externa es picante y la capa interna dulce, la pulpa de color naranja, ácida y aromática. Se pueden producir confituras, mermeladas o jarabes, entre otros derivados. (Ancillo, G., Medina, A. 2014)

Figura 2-13. Variedad híbrida quinoto



Fuente: <https://exoticfruitbox.com/es/frutas-exoticas/kumquat> 2021

2.4. USOS DE LA NARANJA EN LA INDUSTRIA

La naranja es un importante producto agrícola producido en el país, sin embargo, no tiene ningún valor agregado, dado que se produce sólo para consumo local como fruta fresca, y en forma de jaleas y mermeladas de forma artesanal en el departamento.

No obstante, de este fruto presenta múltiples usos industriales

2.4.1. PULPA

La pulpa de los cítricos comprende las 3/4 partes del fruto y es la materia prima para la extracción de jugo de naranja y concentrados congelados. La pulpa como subproducto de dicha extracción es empleada como pienso granulado altamente valorado en la industria por su contenido proteico. La forma de utilización de este subproducto puede ser en fresco, ensilado o deshidratado. En el proceso de deshidratación se añade sodio o hidróxido de calcio para aumentar el pH y facilitar el procesado. Por esa razón, la pulpa de cítricos fresca suele tener un contenido de calcio menor respecto a la pulpa deshidratada. El uso de pulpa de cítricos húmeda es casi exclusivo para el rumiante, y sólo se justifica en zonas cercanas al centro de producción por el coste de transporte. (*FEDNA, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2017*).

Se utiliza para confituras, mermeladas, rellenos, bebidas o golosinas.

Figura 2-14. Usos de la pulpa de naranja en la industria





Fuente: Fuente: <http://naranjasyfrutas.com> 2021

2.4.2. PIEL

Además de sus usos alimentarios, de la piel de la naranja se extraen aceites esenciales que son muy apreciados en la industria de la cosmética y en la elaboración de jabones. Debido a su contenido en limoneno (90%-95%) es útil como insecticida, aunque sus propiedades como tal aún son investigadas.

Los terpenos extraídos de la capa externa de la piel son importantes en la elaboración de resinas y en la formulación de pinturas, especialmente las pinturas para barcos.

El albedo ubicado en la parte interna de la corteza de los cítricos es empleado como materia prima para la obtención de pectina. (Castell, X. 2012)

Figura 2-15. Aplicaciones de la piel de la naranja



Fuente: <https://www.dayelet.com>, 2020.

2.4.3. SEMILLAS

El aceite derivado de la semilla de los cítricos es empleado para la elaboración de jabones, plásticos y como aceite de cocina para preparación de ensaladas.

El residuo de las semillas que contiene alta proteína es empleado como ingrediente para la elaboración de alimentación de ganado y en mezclas fertilizantes.

Figura 2-16. Aplicaciones de las semillas de naranja



Fuente: <http://www.maxinutre.com> 2021

2.4.4. FLORES Y FOLLAJE

Los aceites esenciales destilados tanto de las flores como del follaje son componentes importantes en la elaboración de perfumes. Se destila aceite esencial en menores cantidades de las hojas, flores, ramas y frutas enteras pequeñas e inmaduras (aceite Petitgrain).

Figura 2-17. Aplicaciones de las flores y forraje de naranja



Fuente: Fuente: <http://naranjasyfrutas.com> 2021

El flujo de néctar es más abundante que el de cualquier otra fuente en Estados Unidos. La miel procedente de los cítricos presenta un color claro y es muy fraganciosa; constituye el 25% del total de la miel producida en California.

Figura 2-18. Aplicaciones del polen de la flor de naranjo



Fuente: Fuente: <http://naranjasyfrutas.com> 2021

2.4.5. MADERA

La madera del árbol de naranjo, presenta un color amarillo de grano fino y dura, pero generalmente propensa al ataque de las termitas. Es valorada para la elaboración de muebles, ebanistería, tornería y bloques de tallado, las ramas se utilizan para tallar bastones.

Figura 2-19. Aplicaciones la madera del árbol de naranjo



Fuente: guía de árboles y arbustos, 2020.

2.4.6. USOS MEDICINALES

Las naranjas se consumen para aliviar fiebre y síntomas de catarro. La pulpa tostada es preparada como una cataplasma para enfermedades de la piel. La cáscara es empleada para tratamientos como el acné.

A mediados de 1950 los beneficios de los resultados de la ingesta de naranjas enteras peladas recibieron mucha aceptación debido a que son una gran fuente de protopectina, bioflavonoides e inositol (relacionados con la vitamina B). (Stampella, P., Hilgert, N., & Pochettino, M., 2018)

La infusión de la fruta inmadura es empleada para aliviar problemas estomacales e intestinales. El agua de azahar es considerada antiespasmódica y sedante.

Figura 2-20. Usos medicinales de la naranja



Fuente: Fuente: <http://naranjasyfrutas.com> 2020

2.5. PRODUCCIÓN DE CÍTRICOS EN BOLIVIA

En Bolivia se cultivan 5 variedades de cítricos: naranja, mandarina, limón, lima y pomelo/toronja. Para la campaña agrícola 2015-2016 han sido cuantificadas 446258 Ton métricas de producción de cítricos de los cuales el 41,5 % pertenecen únicamente a naranja según datos oficiales del INE.

Tabla II-2. Producción de Naranja por Departamentos 2015-2016

Producción de Naranja en Bolivia		
Departamento	Superficie Cultivada (Ha)	Producción (Ton Métricas)
La Paz	7196,9	61677
Oruro	0	0
Potosí	14,7	126
Cochabamba	11449,8	98125
Chuquisaca	285,5	2447
Tarija	852,6	7307
Santa Cruz	1294,2	11091
Producción de Naranja en Bolivia		

Departamento	Superficie Cultivada (Ha)	Producción (Ton Métricas)
Pando	44,5	381
Beni	460,1	3943

Fuente: Elaboración propia con datos de la campaña agrícola 2015-2016 realizada por el INE

Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), sólo en 2016 las exportaciones de productos cítricos alcanzaron a 13,2 millones de dólares americanos.

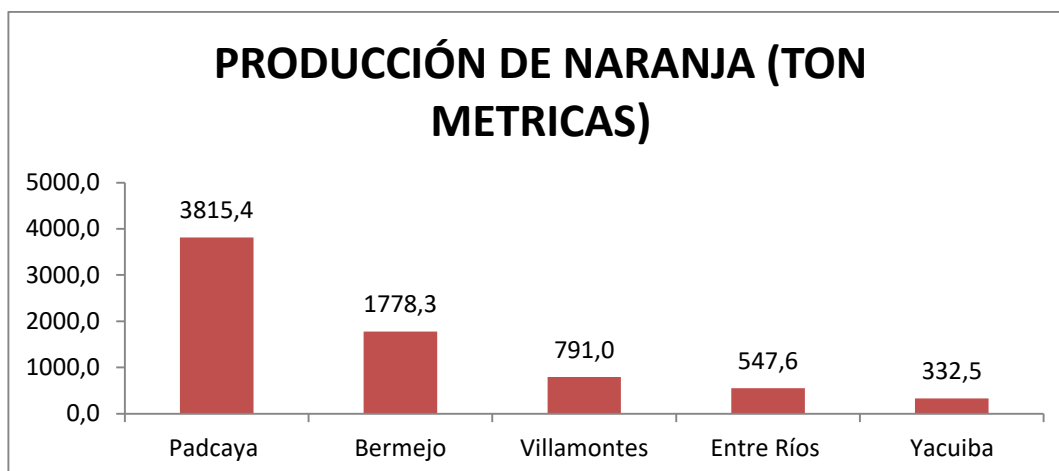
El producto más exportado fue el limón con 3896 toneladas por un valor de 3,1 millones de dólares, seguido de la exportación de 2168 toneladas de jugo de limón y naranja por un monto de 6,1 millones, además de 127 toneladas de aceites esenciales de agrios de limón por un valor de 4,1 millones de dólares.

Los Países Bajos fueron el principal destino de las exportaciones nacionales por un monto de 7,3 millones de dólares americanos, sigue Estados Unidos con 1,8 millones de dólares.

Las importaciones de cítricos en 2016, llegaron a 0,2 millones de dólares y un peso neto de 2004 toneladas métricas, donde el limón peruano es el principal producto importado.

De acuerdo con la información brindada por el Instituto Nacional de Estadística en un comunicado emitido en noviembre de 2017 en Tarija los 5 municipios con mayor producción de cítricos son: Padcaya, Bermejo, Villamontes, Entre Ríos y Yacuiba.

Figura 2-21. Producción de Naranja en Tarija por Municipios

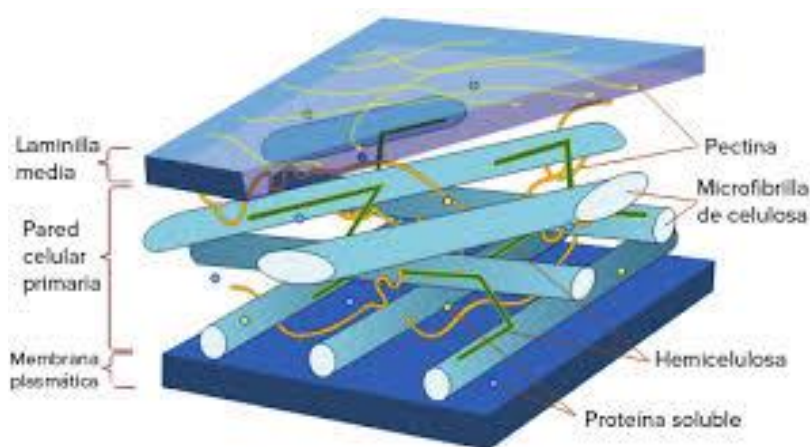


Fuente: Elaboración propia con datos del Instituto Nacional de Estadística 2017

2.6. PECTINA

Las sustancias pécticas son macromoléculas de naturaleza glucosídica que se encuentran en la mayor parte de los tejidos vegetales, especialmente en los tejidos parenquimáticos y meristemáticos compuestas esencialmente por ácido galacturónico (AG) polimerizado. En ellos, las zonas más ricas corresponden a la pared primaria de las células y a la lámina media que las separa. (Gilabert, J. 2012).

Figura 2-22. Pectina presente en la pared celular de los tejidos vegetales



Fuente: Sustancias Pécticas, 2021.

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

y remolacha. Los subproductos de la industria de zumos de frutas, bagazo de manzanas y albedos de cítricos (limón, limón verde, naranja, toronja), constituyen básicamente las fuentes industriales de pectinas. (Devia, J. 2002)

A continuación, se muestra una tabla con el porcentaje de pectina presente en algunas materias vegetales en base seca y húmeda.

Tabla II-3. Porcentaje total de pectina en partes de cítricos frescos por tamaños.

VARIEDAD	PARTE	TAMAÑO		
		GRANDE (%)	MEDIANA (%)	PEQUEÑA (%)
Valencia	Cáscara	0,14	0,28	0,26
	Albedo	0,42	0,68	0,71
	Pulpa	0,08	0,1	0,11
Lima	Cáscara	0,21	0,27	0,35
	Albedo	0,28	0,42	0,41
	Pulpa	0,17	0,13	0,32
Natal	Cáscara	0,1	0,06	0,23
	Albedo	0,47	0,42	0,39
	Pulpa	0,03	0,07	0,09
Bahía	Cáscara	0,28	0,39	0,36
	Albedo	0,41	0,52	0,41
	Pulpa	0,25	0,36	0,26
Ponkan	Cáscara	0,22	0,24	0,23
	Albedo	0,34	0,39	0,37

VARIEDAD	PARTE	TAMAÑO		
		GRANDE (%)	MEDIANA (%)	PEQUEÑA (%)
Murcote	Pulpa	0,21	0,29	0,25
	Cáscara	0,38	0,46	0,46
	Albedo	0,87	0,72	0,69
	Pulpa	0,61	0,34	0,5

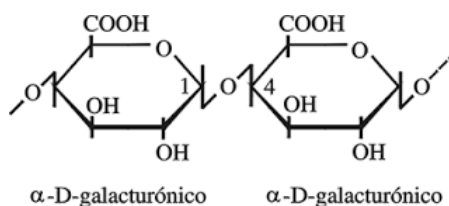
Fuente: Food Sci Technologies, 2021

2.6.1. ESTRUCTURA QUÍMICA

Las sustancias pécticas (pectinas) son carbohidratos coloides presentes en las plantas y preparados a partir de ellas cuya unidad estructural es el ácido galacturónico (AG) que puede encontrarse como tal ácido con el grupo carboxilo libre, o bien o con el carboxilo esterificado por metanol (metoxilado). Las unidades de ácido galacturónico están unidas entre sí por enlaces α (1- 4) y comprenden un grupo extenso formando cadenas de 300 a 1000 unidades de ácido galacturónico. (*American Chemical Society 1944*)

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

Figura 2-23. Estructura básica de la Pectina

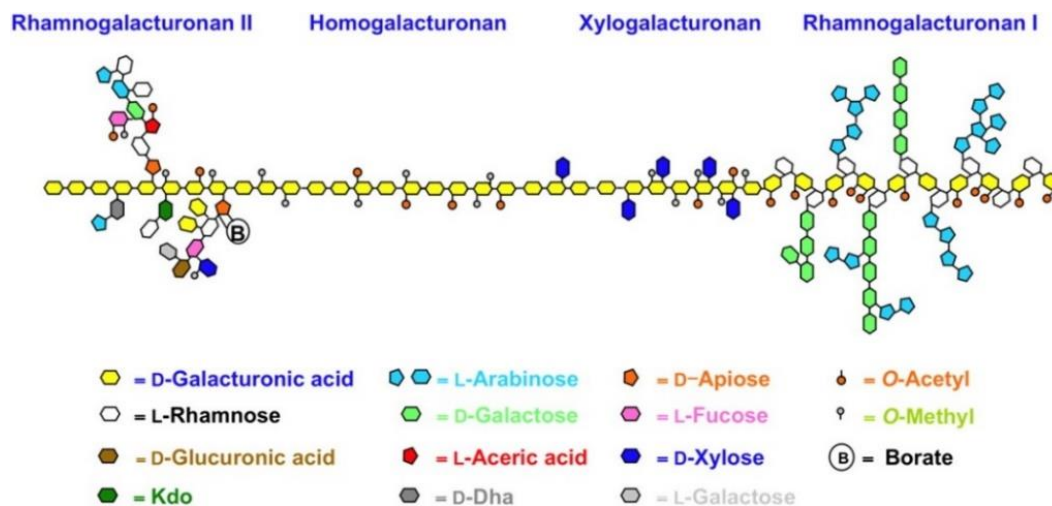


Fuente: Bioquímica Médica 2021

El ácido galacturónico de la pectina, viene acompañado, también, de azúcares neutros, como la D-galactosa, L-arabinosa y L-ramanosa.

La Figura 2-23. Estructura hipotética de la molécula de pectina, muestra el cuerpo principal de la pectina, pues su estructura real es bastante compleja y es un gran desafío acomodar toda la información que se tiene sobre esta molécula en un modelo estructural, a pesar de ello, se han desarrollado varios modelos hipotéticos de este compuesto (Voragen. A. et al., 2009).

Figura 2-24. Estructura de la molécula de pectina



Fuente: <http://www.plantphysiol.org/content/153/2/384>, 2020

Las pectinas obtenidas de frutas y en general de materias vegetales varían en el contenido de metoxilos y el grado de esterificación (GE). En las pectinas comerciales el contenido de grupos metoxilo se halla entre el 8% y 11% y pueden formar geles con un contenido de 65% de sólidos solubles (azúcar). (Cabarcas, E. 2012)

2.6.2. CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS PÉCTICAS

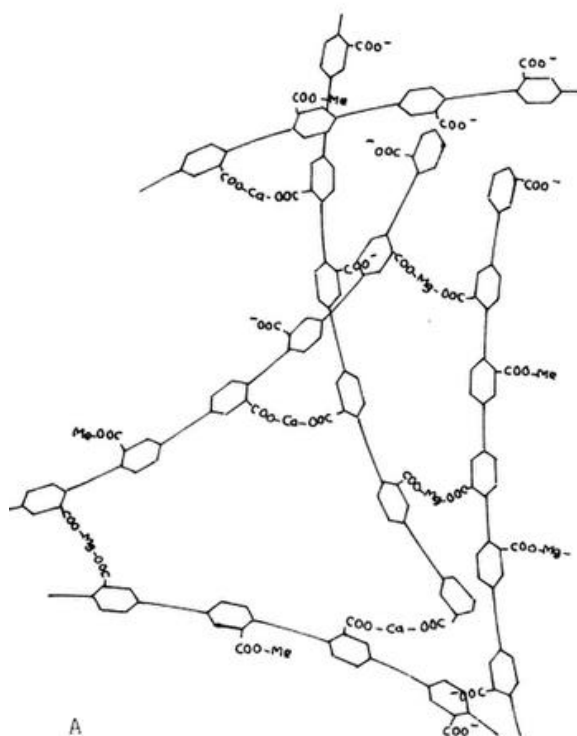
De acuerdo a los cambios y transformaciones químicas debido a la maduración de las frutas se pueden distinguir dos clases principales: los ácidos pectínicos los cuales solo presentan una porción de sus ácidos galacturónicos como ésteres metoxilados y los ácidos pécticos que contienen solo moléculas del ácido galacturónico sin esterificación.

2.6.2.1. PROTOPECTINA

Descubierta por Fremy en 1840, es la forma nativa de la pectina. Es un polímero insoluble en agua que se encuentra en las primeras etapas de formación y maduración de los tejidos vegetales. Están constituidos por azúcares parcialmente metilados, en particular por unidades de anhidro galacturónico enlazadas unas con otras.

La estructura y estado de la protopectina, es aún desconocida a pesar de haber sido descubierta hace más de un siglo. Tentativas en este sentido han sido los modelos propuestos por Henglein (1958) y Mohr y Schopler (1978). (*Navarro García 1985*)

Figura 2-25. Estructura hipotética de la Protopectina



Fuente: Sustancias Pécicas 2020

2.6.2.2. PECTINA

Cuando las sustancias pécticas se tornan solubles se les conoce como pectina. A medida que avanza la maduración del fruto, la protopectina se convierte en pectina y ácidos pectínicos por la acción de una enzima llamada pectinmetilesterasa la cual va solubilizándola. La principal característica es su capacidad para formar geles en

presencia de suficientes sólidos solubles, ácidos o iones polivalentes. (Ferreira, S. 2007).

2.6.2.2.1. ÁCIDOS PECTÍNICOS

Son los ácidos poligalacturónicos coloidales con un contenido de metoxilos menor al 4% que forman geles si las condiciones de sólidos solubles y pH son adecuadas, es decir, con azúcares y ácidos. Las sales que forman son los pectinatos. (Ferreira, S. 2007)

2.6.2.2.2. ÁCIDOS PÉCTICOS

Son polímeros de alto peso molecular con unidades de ácido galacturónico, no contienen grupos metoxilos, por lo cual todos los grupos carboxilo presentes se encuentran libres. La sal de estos se denomina pectatos y reaccionan fácilmente con los iones calcio de las células para producir compuestos insolubles en los jugos de frutas, dando un precipitado visible comúnmente en la separación de fases o abanderamiento en los néctares. (Ferreira, S. 2007)

2.6.2.3. ENZIMAS PÉCTICAS

Las enzimas pécticas son aquellas que intervienen en la degradación de las pectinas para llevarla a compuestos más simples, logrando con esto la pérdida de textura de los frutos y la capacidad de la pectina de formar geles.

Entre las más importantes tenemos la pectin -metil -esterasa, la poligalacturonasa que son las que producen las mayores degradaciones durante la maduración del fruto. (Espinoza C, 2009)

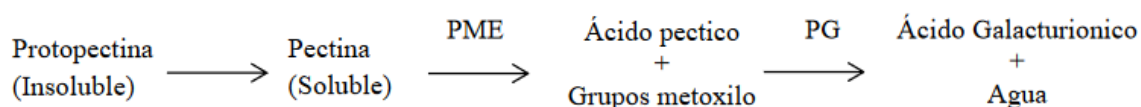
2.6.2.3.1. PECTIN METIL ESTERASA (PME) O PECTASA

Es la enzima encargada de la degradación de la pectina, provoca desesterificación, eliminando grupos metilester, produciendo ácido péctico o ácido D poligalacturónico y metanol.

2.6.2.3.2. POLIGALACTURONASA (PG, PMG)

Rompe las cadenas pécticas hidrolizando el enlace glicosídico entre dos moléculas de ácido galacturónico, liberando una molécula de agua.

Fig. 2-26. Degradación Enzimática de la Pectina



Fuente: Potencial de los subproductos agroindustriales como ingredientes alimentarios 2022.

2.6.3. CLASIFICACIÓN DE PECTINAS

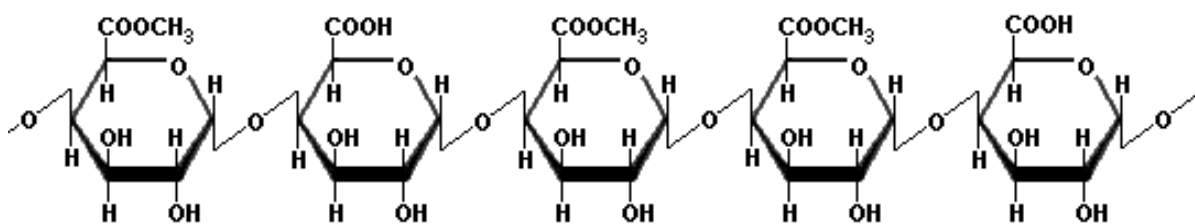
Las pectinas se clasifican según el grado de esterificación o contenido de metoxilo en sus cadenas por ser un indicador de gran importancia.

2.6.3.1. PECTINAS DE ALTO METOXILO (HM)

Son aquellas en las cuales más del 50% de los grupos carboxilos (-COOH) del ácido galacturónico del polímero se encuentra esterificado con metanol como se puede ver en la Figura 2-27.

El grado de esterificación de las pectinas de alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades, en particular, a mayor grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación. Éstas pectinas son capaces de formar geles en condiciones de pH entre 2,8 y 3,5 y un contenido de sólidos solubles (azúcar) entre 60% y 70%.

Figura 2-27. Estructura de la pectina de alto metoxilo



Fuente: Sustancias Pécticas 2021

Las pectinas de alto metoxilo pueden subdividirse en 2 grupos:

2.6.3.1.1. PECTINAS HM DE GELIFICACIÓN RÁPIDA (RAPIDSET)

Para gelificar toman tiempos iguales o menores a 5 minutos y tiene un grado de esterificación con metanol entre el 68 y el 75%. (Ferreira, S. 2007)

2.6.3.1.2. PECTINAS HM DE GELIFICACIÓN LENTA (SLOWSET)

Gelifican después de 5 minutos y tienen entre 60 y 68% de esterificación con metanol.

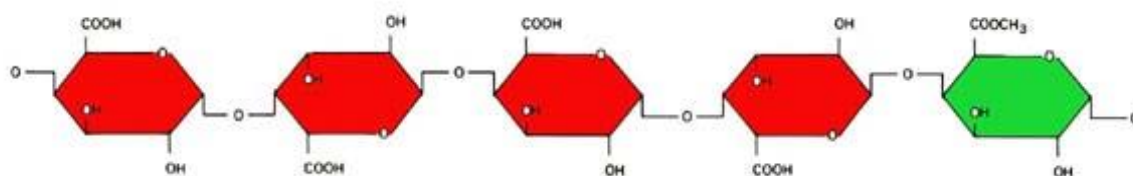
2.6.3.2. PECTINAS DE BAJO METOXILO

Son aquellas en las cuales menos del 50% de los grupos carboxilo están esterificados con metanol. Para la formación del gel requieren la presencia de cationes divalentes, generalmente se emplea calcio. (Ferreira, S. 2007)

En este caso la formación del gel ocurre por la formación de enlaces de dichos cationes con moléculas de pectina, formando una red tridimensional con los grupos carboxilo de ésta.

Los geles se pueden obtener en productos con menor contenido de sólidos solubles (por debajo de 50% - 55%) y rango más amplio de pH, 1 a 7. Es importante mencionar que ninguno de estos parámetros afecta la textura del gel pero la presencia de calcio (40 a 100mg) es el factor predominante en la formación del gel.

Figura 2-28. Estructura de la pectina de bajo metoxilo



Fuente: sustancias pécticas 2021

La pectina de bajo grado de esterificación se clasifica según su reactividad con iones calcio en:

2.6.3.2.1. PECTINA RÁPIDA

Posee alta reactividad con iones calcio, contiene un grado de esterificación aproximadamente del 30% y un grado de amidación del 20%.

2.6.3.2.2. PECTINA MEDIA

Posee una reactividad media con iones calcio, contiene un grado de esterificación aproximadamente del 32% y un grado de amidación del 18%.

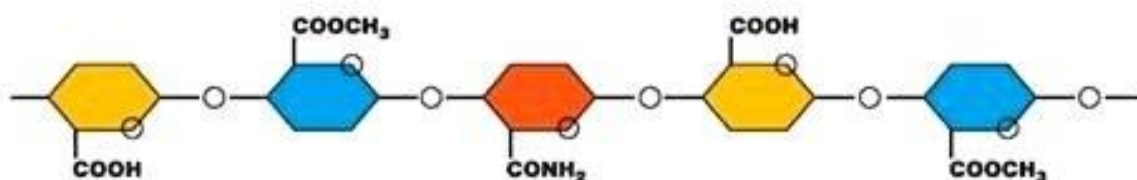
2.6.3.2.3. PECTINA LENTA

Posee una reactividad media con iones calcio, contiene un grado de esterificación aproximadamente del 35% y un grado de amidación del 15%.

2.6.3.3. PECTINAS DE BAJO METOXILO AMIDADA (LMA)

Pueden tener por encima del 25% de grupos amidados en su estructura y esto cambia las características de temperatura y textura. En este tipo de pectina algunos de los grupos restantes de ácido galacturónico han sido transformados en amida. Las propiedades útiles pueden variar con la proporción de unidades éster y amida y con el grado de polimerización.

Figura 2-29. Estructura de la Pectina de Bajo Metoxilo Amidada



Fuente: Sustancias pécticas 2021

2.7. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA PECTINA

2.7.1. SOLUBILIDAD

El agua es el mejor solvente para las pectinas también es soluble en formamida, dimetilformamida y glicerina caliente.

La pectina es insoluble en solventes orgánicos y en soluciones de detergentes cuaternarios, polímeros, proteínas y cationes polivalentes. Estos agentes se emplean para precipitar la pectina de las soluciones después de un proceso de hidrólisis por tratamiento de la materia prima. (Ferreira, S. 2007)

Acidez: Las pectinas son neutras en su estado natural, en solución tienen carácter ácido el cual depende del medio y del grado de esterificación. El pH de las soluciones de pectina varía entre 2,8 y 3,4 como función del grado de esterificación. La pectina tiene una constante de disociación de $0,1$ a 10×10^{-4} a 19°C .

2.7.2. VISCOSIDAD

Las pectinas forman soluciones viscosas en agua, esta propiedad depende del grado de polimerización de la pectina, el pH, la temperatura, la concentración y la presencia de electrolitos. En las pectinas con alto grado de esterificación, la viscosidad por efecto de su presencia aumenta al aumentar el peso molecular, los grupos laterales y la concentración de la pectina en solución. El calcio y otros iones polivalentes aumentan la viscosidad de las soluciones de pectinas y algunas pectinas de bajo metoxilo pueden gelificar si la concentración de calcio supera un cierto límite. (Cabarcas, E., Guerra, A., Henao, C. 2012).

2.7.3. PODER DE GELIFICACIÓN EN GELES DE PECTINA

Para las pectinas con alto metoxilo, se considera que a un pH de 3.4 por lo menos un 40% de los ésteres metílicos están desesterificados y por lo tanto será difícil lograr la formación de un gel estable con presencia de concentraciones de 65% de azúcares. Un exceso en la concentración del azúcar puede producir cristalización en el almacenamiento. En el caso de las pectinas de bajo metoxilo, los geles son menos rígidos y se pueden trabajar con menos sólidos solubles, no dependen tanto del pH, de hecho se pueden obtener buenos geles entre valores de pH de 2.5 y 6.5, pero requieren calcio en una concentración adecuada que varía entre 0.01 y 0.1% p/p en base húmeda. Una mayor concentración de calcio puede conducir una sinéresis excesiva. Un gel de pectina puede considerarse como un sistema en el cual el polímero está en una forma

entre completamente disuelto y precipitado. Segmentos de la cadena molecular están juntos por cristalización limitada para formar una red tridimensional, en la cual el agua, el azúcar y otros solutos se mantienen. (Cabarcas, E., Guerra, A., Henao, C. 2012).

2.7.4. LONGITUD DE LAS CADENAS

Determina la consistencia del gel y está por lo tanto íntimamente relacionada con el poder gelificante.

2.7.5. PESO MOLECULAR

El peso molecular de la pectina está relacionado con la longitud de la cadena, es una característica muy importante de la que dependen la viscosidad de sus disoluciones y su comportamiento en la gelificación de las jaleas.

La determinación cuidadosa del peso molecular es difícil, parcialmente debido a la extrema heterogeneidad de las muestras y a la tendencia de las pectinas a agregarse, aún bajo condiciones no favorables a la gelación. Los pesos moleculares de pectinas y su distribución fueron estudiados sistemáticamente por viscosimetría y determinaron que los pesos moleculares variaban de 20000Da a 300000Da. (Gilabert, J. 2012).

2.7.6. ACCIÓN DE LOS ÁCIDOS

Solubilizan la protopectina, por esta razón se emplea medio ácido controlado en los procesos de extracción de la pectina; aceleran la separación de los metoxilos, si su efecto se continúa se afectan los enlaces glicosídicos 1 – 4 y se pueden romper, y a un pH fuertemente ácido, temperaturas altas y tiempos largos, se presenta la decarboxilación con formación de CO₂ y furfural. A bajas temperaturas predomina la saponificación y altas temperaturas la depolimerización. (Cabarcas, E., Guerra, A., Henao, C. 2012).

2.7.7. ACCIÓN DE LAS ENZIMAS

Sobre las pectinas pueden actuar la pectinmetilesterasa (PME) y la poligaractunosa (PG). La primera ataca a los grupos carboxilo esterificados con metanol liberando los grupos ácidos y el metanol, y la PG ataca las uniones de las unidades de ácido

galacturónicos disminuyendo el peso molecular, cambiando así todas las propiedades que dependen de estas características. Las enzimas pectinolíticas son producidas por hongos y bacterias, para fabricar industrialmente pectinas con características especiales.

Se han desarrollado enzimas que son capaces de degradar las conchas de las diferentes frutas para la separación de la pectina, entre éstas está la endo-poligalacturonasa producida por el hongo *Aspergillus niger* que degrada con alta eficiencia las cáscaras, logrando liberar un alto porcentaje de material péctico. (Gilabert, J. 2012).

2.8. USOS DE LA PECTINA EN LA INDUSTRIA

La pectina, no solo es importante como componente de las frutas, sí no que además presenta diversos usos en la industria, cabe mencionar:

2.8.1. INDUSTRIA ALIMENTICIA

- Fabricación de jaleas (gelatinas) y conservas.
- Como espesante en la mayonesa.
- Precipitación de la caseína de la leche.
- Como estabilizador en los sorbetes.
- Preparación de jugos.

En la industria alimenticia, la pectina de alto metoxilo preserva a los productos lácteos de la agregación de caseína cuando se calienta a valores de pH inferiores a 4.3. Este efecto se usa para estabilizar los yogurts líquidos y tratados con UHT y también para mezclas de leche y zumos de fruta. También estabiliza bebidas lácteas acidificadas con soja y productos basados en el trigo, donde evita la precipitación de proteínas. (Gilabert, J. 2012).

Las bebidas de bajas calorías son muy claras (de textura) y tienen la falta característica de sensibilidad a la boca que proporciona el azúcar en los refrescos convencionales. Puede usarse pectina para mejorar la textura de tales productos y, así, reemplazar a la pulpa del fruto en tales productos.

Científicos del Servicio de Investigación Agrícola de EE.UU., en 2024 han desarrollado una pectina de alta calidad que gelifica eficazmente productos con bajo contenido de azúcar. Esta pectina, obtenida mediante un tratamiento de alta presión en la cáscara de naranja, permite la producción de mermeladas y jaleas con menos azúcar, manteniendo la textura y calidad del producto. (U.S. Department of Agriculture 2024).

Así mismo, la pectina de bajo grado de metoxilación (LMP) permite la gelificación en presencia de calcio en lugar de azúcar, ideal para productos dirigidos a diabéticos o dietas keto, las mermeladas llamadas "sugar-free" en Europa y EE.UU. han sustituido parcialmente agar o carragenina por pectina LMP por su perfil natural y textura más suave. (U.S. Department of Agriculture 2024).

En los sorbetes, helados y polos, la pectina puede usarse para controlar el tamaño del cristal. En los polos retiene los aromas y colores, que normalmente tienden a salir de la estructura del hielo. (Gilabert, J. 2012).

2.8.2. INDUSTRIA FARMACÉUTICA

- Coagulante sanguíneo
- Emulsificante de preparados farmacéuticos.
- Preparación de medios de cultivo bacteriológico.
- Como agente suspensor.
- En la fabricación de cosméticos.

Dentro de la industria farmacéutica la evolución del estudio de la pectina ha tomado gran relevancia teniendo en cuenta que, la acción antidiarréica es la propiedad más universalmente conocida, incluso antes de descubrirse la molécula de pectina. Este efecto se acompaña frecuentemente de una acción antivomitiva, permitiendo a los niños de corta edad asimilar y tolerar mejor los alimentos, en particular leches y productos lácteos, y es, sin duda, consecuencia del papel de protector y regulador del

sistema gastrointestinal que ha tomado la pectina dentro de los preparados magistrales. (Cabarcas, E., Guerra, A., Henao, C. 2012).

Las pectinas de alto metoxilo asociadas a otros principios activos, tienen una gran utilización en los tratamientos de gastritis y úlceras, ya que al ser ingerida cubre las paredes estomacales de una especie de película más o menos gelificada, y la protege de hipersecreciones gástricas y biliares. Su acción en la pared intestinal es análoga; además, se añade una acción desintoxicante, debido al poder adsorbente de la macromolécula péctica, que permite la inhibición de toxinas. (Cabarcas, E., Guerra, A., Henao, C. 2012).

De acuerdo con, Pérez-Loyola M, Valdés-González M, Garrido G, en su revisión sistemática para el Journal of Pharmacy and Pharmacognosy del 2022, en los últimos 11 años y hasta la fecha, en el campo farmacológico, se están realizando múltiples estudios con pectinas modificadas en animales como parte del tratamiento contra el cáncer de colon.

El tratamiento actual del cáncer de colon consiste principalmente en cirugía, radioterapia y quimioterapia con fármacos. Sin embargo, el problema más importante que enfrentan los pacientes frente a estos tratamientos, es la cardiotoxicidad que puede generar en su organismo.

Una forma de optimizar dicha terapia es añadir al tratamiento farmacológico, coadyuvantes como las pectinas, que son sustancias de origen natural que logran mejorar la sensibilidad de las células cancerosas hacia la quimioterapia. Esto debido fundamentalmente a su actividad anticancerígena, antioxidante y anti proliferativa (Pérez-Loyola M, Valdés-González M, Garrido G 2022).

A continuación, se puede observar en la siguiente tabla la aplicación de la pectina en función al contenido de grupos metoxilo en la cadena:

Tabla II-4. Principales Aplicaciones de la Pectina de Alto y Bajo Metoxilo.

TIPO DE PECTINA	FUNCIÓN	APLICACIÓN
ALTO METOXILO	MATERIA PRIMA	Fabricación de pectinatos metálicos.
		Preparación de ácido poligalacturónico.
		Preparación de disoluciones concentradas, poco viscosas, bebibles o inyectables.
	ESPESANTE	Preparación de jarabes, pastas, jaleas contenido principios terapéuticos activos. Espesante de medio de cultivo de bacterias.
	ESTABILIZANTE Y EMULSIONANTE	Estabilización de emulsiones de proteínas.
		Estabilización de emulsiones de líquidos.
		Empleo suspensión de sólidos.
		Emulsión de líquidos aceitosos.
	GELIFICANTE	Fabricación de confituras, jaleas(laxantes).
BAJO METOXILO	MATERIA PRIMA	Preparación de ácido galacturónico (para síntesis).
	ESPESANTE Y/O GELIFICANTE	Preparación de jaleas, poco o nada azucaradas o con adición de dextrosa, pastas, pomadas, jarabes etc. Preparación de complejos texturados con compuestos orgánicos y minerales.

Fuente: (Navarro y Simón, 1985)

2.9. CONSUMO DE PECTINA EN BOLIVIA

La pectina en Bolivia es utilizada principalmente por la industria de alimentos, específicamente para la producción de mermeladas, dulces, bocadillos, bebidas, lácteos, postres y helados entre otros. Este sector a su vez representa una gran parte de la economía nacional cuya contribución al PIB nacional aumentó del 6,5% en el periodo 1999-2005 al 7% en el periodo 2006–2014. Todo esto, referido a la industria manufacturera de alimentos que comprende los sectores de molinería/panadería, azúcares y confitería, productos diversos, bebidas, carnes frescas y elaboradas, y lácteos.

De acuerdo a estadísticas del Registro de Comercio de Bolivia para el periodo 2005-2013, cerca del 24% de las industrias manufactureras legalmente establecidas corresponden únicamente a la producción de alimentos y bebidas que requieren pectina.

Respecto a las redes industriales que funcionan en el país cabe destacar que alrededor del 73% de la producción de la industria manufacturera se destina al mercado interno y el saldo corresponde a mercados externos con bajos niveles de articulación entre empresas y mercados debido a un bajo desarrollo productivo.

A continuación, se puede observar una estructura porcentual del sector industrial que es potencial consumidor de sustancias pécticas.

Tabla II- 5. Fragmento Estructura Porcentual del Sector Industrial en Bolivia

ACTIVIDAD	VALOR AGREGADO BRUTO	EXPORTACIONES	CONSUMO HOGARES
Productos lácteos	0,70%	0,70%	4,80%
Azúcar y confitería	1,40%	0,90%	3,70%
Bebidas	6,70%	2,10%	12,50%

Fuente: Diagnóstico sectorial Industria, Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas, 2018.

Entre el 2014 y el 2018 las importaciones por concepto de materias pécticas en Bolivia asciende a una cantidad de 76061 kg de producto, lo cual genera un valor importado de aprox. 1345144 \$us. (Vertitrade Corp., 2020).

En la siguiente tabla se presentan los detalles del embarque, de la primera quincena de septiembre de 2017, por concepto de sustancias pécticas.

Tabla II-6. Detalle de Importación de Sustancias Pécticas, septiembre 2017.

FECHA	PARTIDA ADUANERA	IMPORTADOR	CANT.	UNIDAD	PAÍS DE ORIGEN	DESCRIPCIÓN COMERCIAL
15/9/2017	13022000000	PIL ANDINA S.A.	150	kg	Brasil	Pectina Cítrica-genu(estabilizante)
15/9/2017	13022000000	PIL ANDINA S.A.	850	kg	Brasil	Pectina Cítrica-genu(estabilizante)
15/9/2017	13022000000	QUÍMICA ANDERS LTDA	1500	kg	Dinamarca	Genu pectinas. Producto para uso Industrial

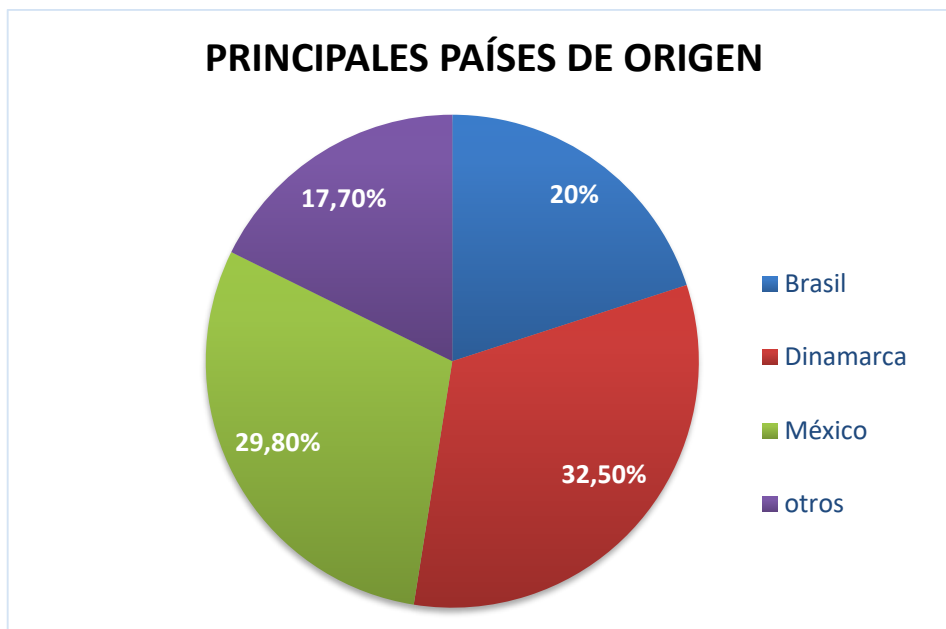
Fuente: Aduana Nacional, 2017.

Es importante mencionar también que, en el país, durante el 2014 y 2018 han existido 61 registros de importaciones de pectina cítrica por 7 industrias. De las cuales los principales importadores son Pil Andina S.A. y Química Anders LTDA.

Actualmente entre 2019 y septiembre del 2024 las importaciones por concepto de materias pécticas en Bolivia alcanzaron solamente a una cantidad de 44746 kg de producto, lo cual genera un valor importado de aprox. 671640 \$us. (Vertitrade Corp., 2024), esto debido a la crisis económica y la falta de divisas existentes en el país, lo cual dificulta las importaciones de dicho producto.

Los principales países proveedores de sustancias pécticas al país se detallan a continuación.

Figura 2-30. Origen de Importaciones de Sustancias Pécicas



Fuente: Elaboración Propia con datos de Vertitrade Corp., 2024

Solamente para tener un panorama más claro de la cantidad de importaciones de sustancias pécicas en el país, hasta septiembre de 2024 según datos de la Aduana Nacional se importaron 2,5 Ton. de pectina cítrica de Brasil y Dinamarca, con un valor aprox. de 42500\$us.

2.10. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PECTINAS

Debido a que las pectinas son compuestos que generalmente se emplean en alimentos, es necesario extraerlas del tejido vegetal mediante el uso de reactivos, disolventes y equipos que no dejen residuos tóxicos en el producto final. Por ello, el proceso de extracción debe cumplir con estas necesidades; además, las propiedades fisicoquímicas de la pectina extraída, tales como pH, porcentaje de cenizas, grado de gelificación y grado de esterificación entre otros, deben estar dentro del rango apropiado para que las cualidades de la pectina puedan aprovecharse. (Aldana V., Aguilar G., Contreras E., Nevárez M. 2011).

Existen diferentes técnicas para la extracción de pectina a partir de tejidos vegetales, en las cuales pueden utilizarse procedimientos físico-químicos, o enzimáticos.

Con la finalidad de obtener un mayor rendimiento durante la extracción de sustancias pécticas, comúnmente se realizan pre-tratamientos al material vegetal para facilitar la extracción.

2.10.1. EXTRACCIÓN DE PECTINAS POR MÉTODOS FÍSICOQUÍMICOS

Se han empleado dos métodos para extraer la protopectina de las plantas, uno es usando un agente quelante para remover los cationes que constituyen a los ácidos pécticos, y el otro mediante el uso de ácidos para romper los puentes de hidrógeno entre la celulosa y los ácidos pécticos. (Aldana V., Aguilar G., Contreras E., Nevárez M. 2011)

El rendimiento de pectina depende de las condiciones de operación como la temperatura, el tiempo de extracción, el pH, los tipos de solventes de extracción usados y el uso de agentes quelantes adicionados, como es el caso del ácido etilendiamino tetraacético (EDTA) y del ácido ciclo hexanodiamino tetraacético (CDTA) para ayudar a liberar pectina de la pared celular. (Aldana V., Aguilar G., Contreras E., Nevárez M. 2011)

2.10.2. EXTRACCIÓN DE PECTINAS POR MÉTODOS ENZIMÁTICOS

La extracción enzimática de pectinas es otro método de extracción físicoquímica de pectina.

Existen pocos trabajos sobre extracción enzimática de pectinas. El método enzimático emplea pectinesterasa o pectinmetilesterasa, la cual convierte las pectinas de alto metoxilo en pectinas de bajo metoxilo sin despolimerización de la molécula de pectina. Los geles obtenidos por vía enzimática muestran mayor resistencia al presentar mayor peso molecular que las pectinas obtenidas de manera convencional. (Cabarcas Henao, Guerra Benedetti, & Henao Balseiro, 2012).

2.10.3. EXTRACCIÓN DE PECTINAS POR EL MÉTODO CONVENCIONAL

La extracción de pectinas por métodos convencionales se lleva a cabo a temperaturas que rodean los 90°C y por períodos de tiempo de hasta dos horas. Las pectinas

continuamente se extraen y separan de los desechos de diversos frutos mediante acidificación por hidrólisis ácida. Empleando ácidos como el cítrico, clorhídrico, fosfórico, nítrico o sulfúrico, se obtienen pectinas a altas temperaturas para hidrolizar la protopectina. (Aza & Méndez, 2011).

Después de concentrarlas, se precipita la pectina con la adición de alcohol, se seca, se granula y por último se tamiza. También puede darse la extracción con soluciones neutras o básicas, pero no se conoce con certeza la concentración ideal con alcohol para su precipitación (Aza & Méndez, 2011).

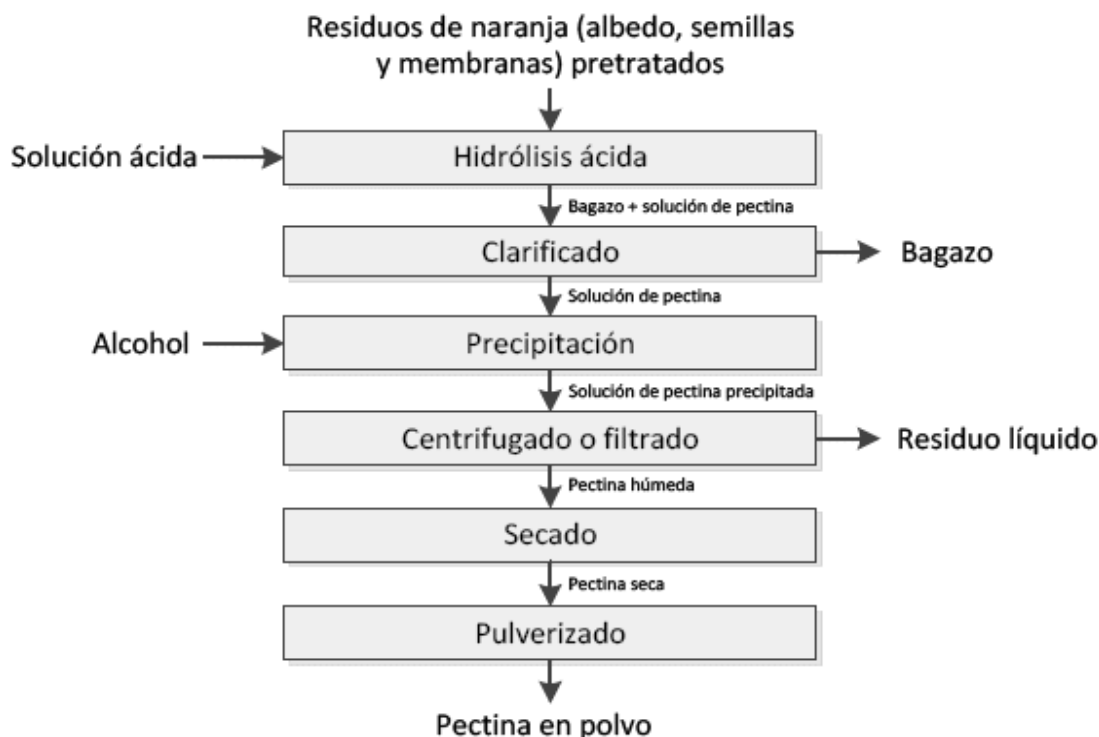
2.11. PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINAS

El procedimiento general para la obtención de pectina es el mismo para cualquier materia vegetal, los procesos principales son la inactivación de enzimas pécticas, hidrólisis ácida y precipitación de la pectina.

La extracción consiste, básicamente, en una hidrólisis ácida (la etapa más importante) en condiciones específicas de pH, temperatura y tiempo, las cuales son las variables independientes que determinan la calidad del producto y el rendimiento del proceso. Las etapas subsecuentes son: la operación de clarificado, donde se separa la solución de pectina del bagazo, una precipitación alcohólica y posterior centrifugado o filtrado, donde se aísla la pectina de dicha solución. Finalmente, la pectina húmeda se seca con aire caliente, para luego lograr la homogeneización del tamaño de partícula del producto mediante el pulverizado.

A continuación, se puede observar en el siguiente diagrama de bloques un proceso estándar de extracción de pectina cítrica:

Fig. 2-31. Proceso de Extracción de Pectina Cítrica.



Fuente: **Zegada V. (2015)**. *Extracción de Pectina de Residuos de Cáscara de Naranja por Hidrólisis Ácida Asistida por Microondas*. Centro de Investigaciones de Procesos Industriales (CIPI) Universidad Privada Boliviana.

2.12. ESTUDIOS REALIZADOS EN EL CAMPO DE LA EXTRACCIÓN DE PECTINAS

En la Universidad de Zulia, Venezuela, el estudio realizado teniendo como objetivo la extracción y caracterización de la pectina a partir de la cáscara de plátano (*Musa AAB* subgrupo plátano, clon Hartón), ha tenido como resultado que la pectina obtenida en condiciones de pH 2.0 y 3.0 es de bajo metoxilo. Es decir que el producto obtenido a pH 3,0 posee características competitivas dentro de su tipo para ser destinada a la industria de alimentos. **R. VASQUEZ, L. RUESGA, R. D'ADDOSIO, G. PÁEZ Y M. MARÍN (2008)**. *Pectin extraction from plantain (Musa AAB, sub-group plantain) peel Harton clone*. Facultad de Ingeniería. Universidad de Zulia.

En la Universidad Católica de Maule (Chile), a finales del año 2005 se ha desarrollado una investigación concerniente a la extracción de pectina para la producción de jaleas a partir de uvas (*Vitis labrusca* cv. Concord), evaluando el efecto de dos niveles de madurez de la uva (16,6 y 22° °Brix, tres niveles de pH (2, 2,5 y 3) y dos tiempos de cocción a 90°C (45 y 60 min) sobre la extracción de pectinas y su grado de metoxilación (GM). Donde como resultado se recomienda cosechar con 16,6 °Brix y calentar el zumo a pH 2,5 durante 60 minutos para obtener la mejor extracción de pectinas de alto grado de metoxilo, con un rendimiento del 3,84% (base peso fresco) y un grado de metoxilo 70,48 GM, comparable con pectinas HM de alta calidad. **Fredes C., Loyola N., Muñoz J. (2009);** *Extracción de pectinas de vitis labrusca cv. Concord para producir jaleas* en: Idesia Chile. Vol 27 pags 9-13.

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

En 1995 en la Universidad Nacional (Bogotá – Colombia), se ha realizado una investigación cuyo propósito ha sido la obtención y caracterización de pectina a partir de mango. En la misma se han aprovechado los desechos industriales del procedimiento del mango común (*Manguifera indica*) extrayendo pectina a escala piloto a diferentes valores de pH (3,2; 3,4; 3,6) y tiempos de hidrólisis (45, 60 y 75 min). Donde las mejores condiciones de acuerdo a la calidad han sido los rangos de pH de 3,2 y 75 minutos de hidrólisis, con un rendimiento de 23 a 24%.

Para aprovechar las cáscaras resultantes de la extracción de jugos de fruta de galgal (*Citrus pseudo limón Tan*), una variedad de limón propia de la India, se ha estandarizado un proceso para la máxima recuperación de las pectinas, considerando varias variables como: tipos de solventes, relación de cáscara/solvente, tiempo de extracción, número de extracciones y tamaño de las partículas de las cáscaras. Donde

como resultado de dicha investigación Se ha encontrado que el mejor solvente ha sido en HCl 0,1N, con una relación de cáscara a ácido 1:10 por un tiempo de extracción de 60 minutos. Se precipita la pectina con alcohol (etanol) y con cloruro de aluminio, dando mejores resultados el etanol. (**Devia Pineda J. 2003.** *Proceso para Producir Pectinas Cítricas*. Revista Universidad EAFIT, Colombia. Departamento de Ingeniería de Procesos).

2.13. METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA PECTINA

La caracterización fisicoquímica empleada para el presente trabajo está planteada por **Owens, Mccready, Shepherd y Shults, (1952)** «*Methods used in western regional restarch laboratory for extraction and analysis of pectic materials.*,» Rescarch Laboratory. Albany, California, y descrita en el trabajo de investigación de **Mendoza-Vargas, L.; Jiménez-Forero, J.; Ramírez-Niño (2017, enero)** “*EVALUATION OF PECTIN EXTRACTED ENZYMATICALLY FROM COCOA (Theobroma cacao L.) POD HUSKS*” [Artículo en línea] Fecha de consulta: 08 de junio de 2021.

2.13.1.DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE (PE) Y ACIDEZ LIBRE (AL)

La acidez libre (AL) y el peso equivalente (PE) de la pectina, se determinan mediante una valoración ácido-base realizando una titulación con Hidróxido de sodio 0,1 mol/L. Se calcula relacionando el peso de la muestra y los miliequivalentes de Hidróxido de Sodio gastados en la titulación, de acuerdo a las siguientes expresiones (Owens et al. (1952)):

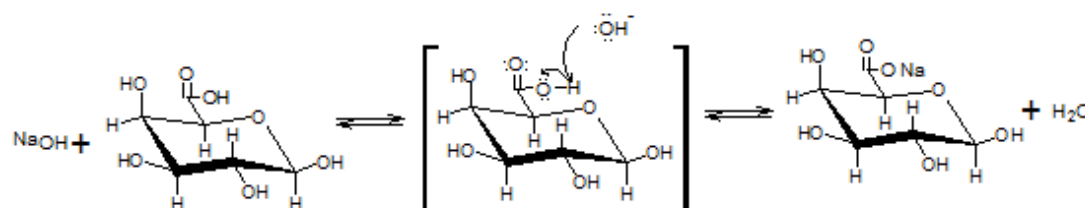
$$PE = \frac{mg \text{ pectina}}{meqq \text{ NaOH}}$$

La Acidez Libre (AL) se determina relacionando los miliequivalentes de Hidróxido de Sodio consumidos en la determinación del PE (que representan los carboxilos libres presentes en el componente ácido) y el peso de la pectina en gramos. (Owens et al. (1952)):

$$AL = \frac{meqq\ NaOH}{g\ pectina}$$

La estructura de la pectina está constituida principalmente por monómeros de ácido D-galacturónico, molécula que presenta el grupo funcional carboxilo (COOH), por lo tanto el peso equivalente representa el número de carboxilos libres, que reaccionan con la base adicionada, de forma que su grupo funcional carboxilo COOH, que otorga las características ácidas a la molécula, sufre separación del protón debido a la acción de la base. **N. Allinger, C. Jhonson y N. Lebel, (1986)** “Química Orgánica”

Fig. 2-32. Reacción de molécula Ácido D-Galacturónico con NaOH



Fuente: Química Orgánica 1986

2.13.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRUPOS METOXILO

Las moléculas de ácido D-galacturónico que conforman la estructura molecular de la pectina, presentan grupos Metil-Éster, la cantidad de estos grupos funcionales permiten evaluar la facilidad de formar geles, clasificarla como Bajo Metoxilo (LM), o de Alto Metoxilo (HM). **S. Ranganna**, «*Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products*». Segunda ed., pág. 31-36.

El contenido de grupos metoxilo se determina partiendo de la solución empleada para la determinación del peso equivalente (PE). Luego de realizar la saponificación de la pectina con NaOH 0,1 N, es necesario adicionar una solución de NaOH 0,25N para desesterificar la pectina y posteriormente se neutraliza el exceso de base presente con una solución de HCl 0,25N y se titula nuevamente con una solución de NaOH 0,1N hasta viraje de color. **Mendoza-Vargas, L.; Jiménez-Forero, J.; Ramírez-Niño (2017, enero)** “*EVALUATION OF PECTIN EXTRACTED ENZYMATICALY FROM*

COCOA (Theobroma cacao L.) POD HUSKS” [Artículo en línea] Fecha de consulta: 08 de junio de 2020.

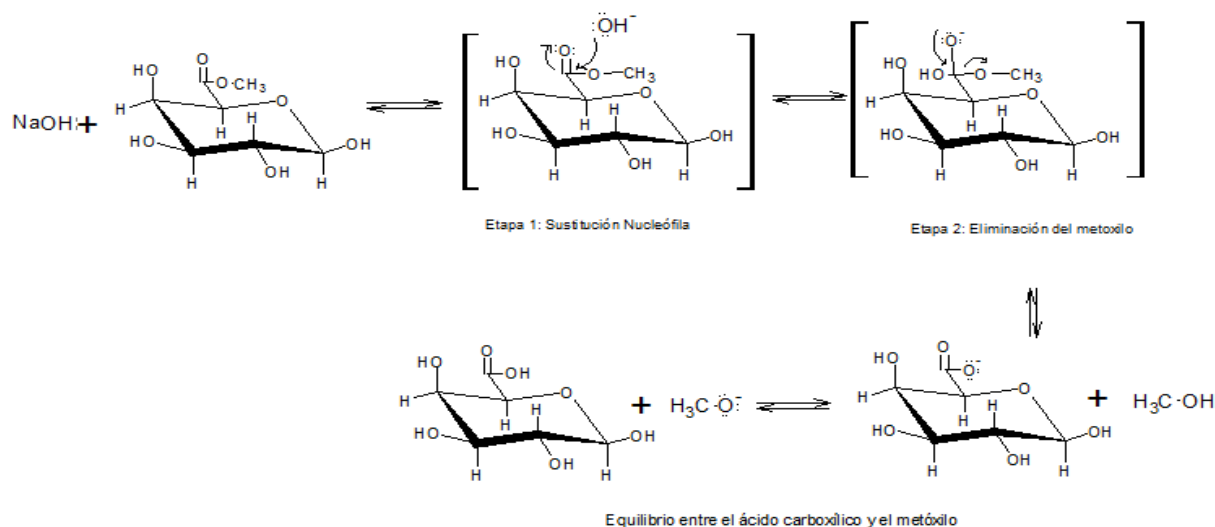
$$\%METOXILO = \frac{meqB * PMMetoxilo_{mg/meq}}{mg\ pectina} * 100$$

Donde:

meqB= son los miliequivalentes de Hidróxido de Sodio 0,1N empleados en la valoración

PMMetoxilo= Peso Molecular del grupo metoxilo expresado en meq/mg

Figura 2-33. Mecanismo de Saponificación del Ácido D-Galacturónico



Fuente: “EVALUATION OF PECTIN EXTRACTED ENZYMATICAALLY FROM COCOA (Theobroma cacao L.) POD HUSKS” 2017

2.13.3. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE ESTERIFICACIÓN

Para la determinación del grado de esterificación de una molécula de pectina se relacionan los carboxilos esterificados de las moléculas de ácido D-Galacturónico y los carboxilos totales de las moléculas de ácido D-Galacturónico.

El porcentaje de esterificación se calcula dividiendo los miliequivalentes del Hidróxido de Sodio gastados en la determinación del contenido de metoxilo por la suma de los

miliequivalentes de Hidróxido de Sodio gastados en la determinación de la acidez libre y los gastados en la determinación del contenido de metoxilo y multiplicando este valor por 100. (Cayón, G., Valencia L., Morales H. y Domínguez A. 2004)

$$\%Esterificación = \frac{meqNaOH_{\% \text{ metoxilo}}}{meqNaOH_{det AL} + meqNaOH_{det PE}}$$

2.13.4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ÁCIDO ANHÍDRIDO GALACTURÓNICO (AAG)

El porcentaje de ácido anhídrido galacturónico (AAG) permite conocer el grado de pureza de la pectina, puesto que la misma es un polisacárido constituido no solo por ácido D-galacturónico, sino también, en su estructura, el 10% o más de la cadena puede representar otros azúcares, como arabinosa, glucosa y ramnosa. (Cayón, G., Valencia L., Morales H. y Domínguez A. 2004)

Su determinación es la acidez libre y unidades metiladas, como a continuación se puede observar en la ecuación:

$$\%AAG = \frac{PM_{AAG} \text{ en mg/meq} * 100 * (meqNaOH_{det AL} + meqNaOH_{\% METOX})}{mgpectina}$$

Donde:

PM AAG= Peso Molecular del AAG expresado en mq/meq equivale a 176

2.13.5. GRADO DE GELIFICACIÓN

Para una evaluación cualitativa del grado de gelificación de la pectina obtenida, se debe expresar la cantidad de azúcar que gelificará una parte de pectina para obtener una firmeza dada; bajo condiciones establecidas de pH (3,2-3,5) °Brix (65-70) y pectina en límites del 0,2% al 1,5%. (Cayón, G., Valencia L., Morales H. y Domínguez A. 2004).

$$\text{Grado de Gelificación} = \frac{g \text{ azúcar}}{g \text{ pectina}}$$

CAPÍTULO III. PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. INTRODUCCIÓN

La ejecución de la parte experimental del presente trabajo de Investigación Aplicada “*Obtención de Pectina Cítrica en Polvo a partir de Cáscaras de Naranja*”, es realizada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) perteneciente a la carrera de Ing. Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, en el departamento de Tarija.

3.2. DISEÑO FACTORIAL

El diseño factorial constituye la estructura de cualquier trabajo científico. Brinda dirección y sistematiza la investigación, Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores (variables) para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. (Fernández, S., 2020).

Un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales, con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todos los factores. Este tipo de experimentos permiten el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable. (Medina, P., Lopez, A. 2011).

Según la cantidad de niveles o valores por factor, el diseño factorial se clasifica en diseño factorial con cantidad de valores constantes o variables.

La notación del diseño es más sencilla cuando la cantidad de niveles por factores es igual. Así el diseño factorial de dos factores a dos niveles se representa por 2^2 , el de tres factores a dos niveles por 2^3 , etc. En términos generales, los diseños a dos y con k factores se representan por 2^k ; a tres niveles, por 3^k ; a cuatro niveles por 4^k , etc. (Fernández, S., 2020).

Si el diseño factorial es completo, se realizan todas las posibles combinaciones entre los valores de las variables. Así, cada combinación de tratamiento determina un grupo experimental. (Fernández, S., 2020).

3.2.1. DISEÑO FACTORIAL PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA EN POLVO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA

El diseño planteado para el presente trabajo de investigación pertenece al tipo 2^k donde, k corresponde a la cantidad de factores que intervienen en el proceso (variables), con dos niveles cada uno y requieren 2^k experimentos. Cada factor o variable es estudiado a dos niveles: uno alto (+) y uno bajo (-). Es así que los experimentos a realizarse incluyen todas las combinaciones posibles tomando en cuenta dichos niveles.

Dentro del presente trabajo de obtención de pectina cítrica los factores o variables que afectan en mayor o menor proporción al rendimiento de obtención y calidad de dicho producto son: el pH de la solución para la extracción de la pectina, la temperatura a la que se realiza dicha extracción y el tiempo. Todos estos factores inciden directamente no sólo en la cantidad de pectina obtenida en cada experimento, sino también en las características fisicoquímicas de la pectina y el uso que se le da a la misma dentro del campo industrial. En la siguiente tabla pueden observarse los valores definidos de los niveles para las variables dentro del proceso de obtención de pectina cítrica.

Tabla III-1. Diseño de experimentos tipo 2^k

NIVELES	FACTORES O VARIABLES		
	pH	Temperatura (°C)	tiempo (min)
ALTO (+)	2,5	80	90
BAJO (-)	1,5	60	70

Fuente: Elaboración Propia. 2022.

Una vez definidos los niveles para cada variable, es posible realizar el modelo del diseño factorial, en este caso para el presente trabajo es un diseño factorial de tipo 2^3 , con todas las combinaciones posibles, quedando la siguiente tabla de referencia:

Tabla III-2. Tabla del Diseño Factorial para la Obtención de Pectina Cítrica.

Nº de experimentos	Variables			Variable Respuesta
Nº	pH	T (°C)	t (min)	% Rendimiento
1	-1	-1	-1	Y ₁
2	1	-1	-1	Y ₂
3	-1	1	-1	Y ₃
4	1	1	-1	Y ₄
5	-1	-1	1	Y ₅
6	1	-1	1	Y ₆
7	-1	1	1	Y ₇
8	1	1	1	Y ₈

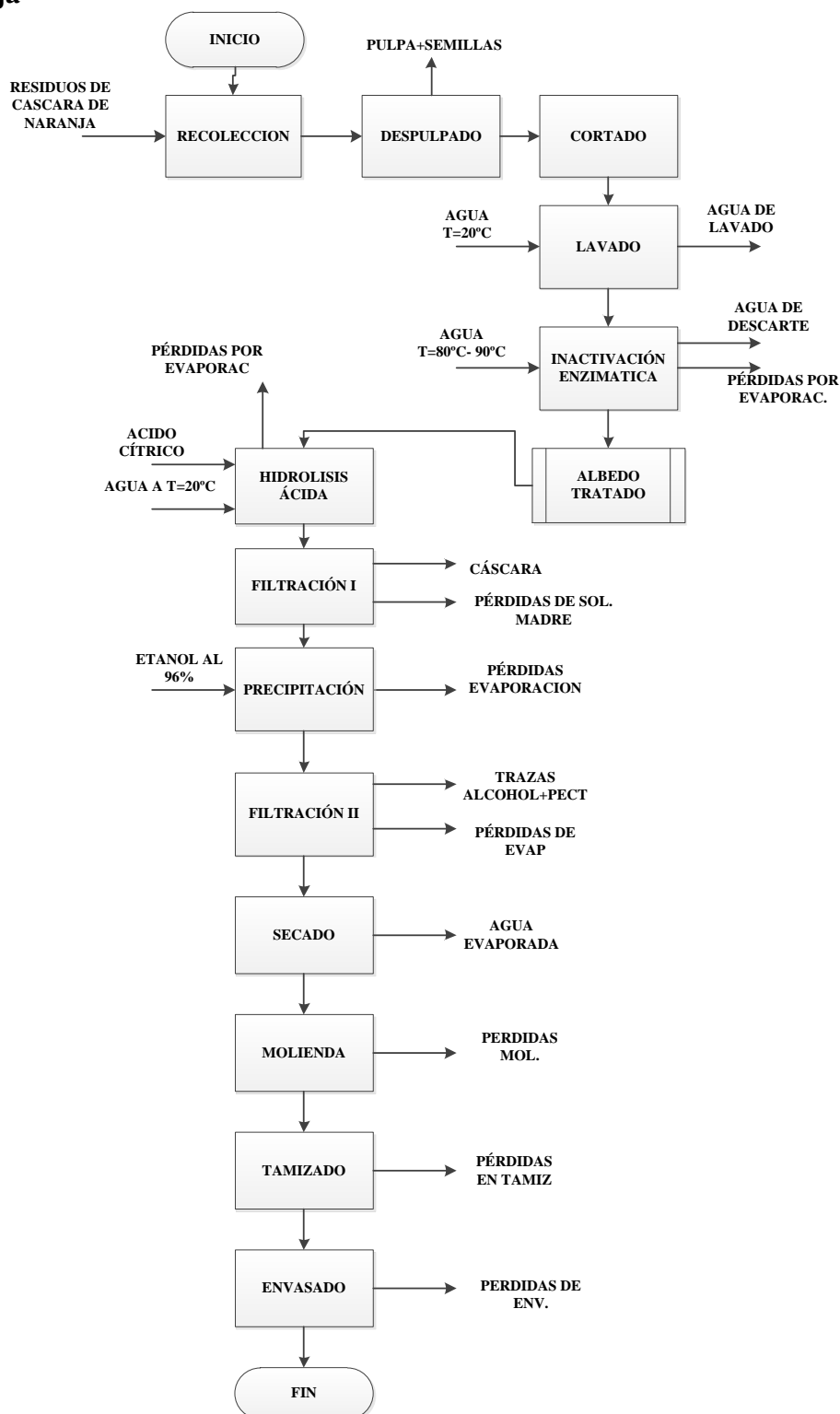
Fuente: Elaboración Propia. 2022.

Al ser este un diseño tipo 2^k es necesario hacerlo por dos, es decir, hacer una réplica por cada experimento

3.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA EN POLVO A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA

Para el presente trabajo el método de obtención de pectina cítrica es el convencional, mediante una hidrólisis ácida, puesto que en relación a otros métodos de extracción como el enzimático se obtiene un mayor rendimiento. A continuación, en la siguiente figura se detalla el proceso, el cual consta de dos partes, la primera, referente al acondicionamiento de la materia prima y el segundo a la extracción del producto.

Fig 3-1. Proceso de Obtención de Pectina Cítrica en Polvo a partir de Cáscara de Naranja



Fuente: Elaboración Propia. 2022

3.3.1. RECOLECCIÓN Y SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima para la obtención de pectina cítrica, son cáscaras de naranja (albedo y pulpa únicamente) recolectadas de diferentes puntos de venta de jugos cítricos en el departamento de Tarija, procedentes del desecho de la elaboración de dichos jugos. Las cáscaras son recolectadas en bolsas plásticas, y separadas de otros residuos como vasos plásticos y la parte externa o exocarpio.

Fig. 3-2. Recolección de cáscara de naranja.



Fuente: Elaboración Propia. 2022.

Una vez que la cáscara es recolectada, es necesario seleccionar la misma, de manera que el albedo dañado por la presión que se ejerce al momento de la extracción del jugo sea separado, con el fin de garantizar altos rendimientos de obtención.

Fig 3-3. Cáscara dañada



Fuente: Elaboración Propia. 2022

3.3.2. PESADO

Una vez que la materia prima es recolectada es pesada en una balanza mecánica, para luego poder determinar el rendimiento al final del proceso.

Fig 3-4. Pesaje de la cáscara recolectada



Fuente: Elaboración Propia. 2022.

Después del acondicionamiento de la materia prima para cada experimento se pesan 100g de albedo.

Fig 3-5. Pesaje del albedo acondicionado para la extracción



Fuente: Elaboración propia. 2022.

3.3.3. DESPULPADO

En esta parte del proceso es necesario separar la pulpa (endocarpio) del albedo (mesocarpio interno) para poder utilizar el mismo para la extracción.

Fig 3-6. Despulpado del albedo de naranja



Fuente: Elaboración propia. 2022

3.3.4. CORTADO

Una vez separado el albedo de la pulpa, éste es cortado en pequeños trozos de 1cm x 1cm aproximadamente, para obtener mayor superficie de contacto al momento de la extracción.

Fig 3-7. Cortado del albedo



Fuente: Elaboración Propia. 2022

3.3.5. LAVADO

En esta etapa se lava el albedo para eliminar cualquier tipo de impurezas visibles, como ser tierra o restos de pulpa que podrían haber quedado en el albedo.

Fig 3-8. Lavado del albedo de naranja



Fuente: Elaboración Propia. 2022.

3.3.6. INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA

Durante esta etapa es necesario hacer un escaldado para inactivar la acción de las enzimas pectolíticas, con agua a temperaturas cercanas a ebullición 80°-90°C en concentraciones de 300g de muestra (albedo) por litro de agua durante 10 minutos aproximadamente, con el propósito de eliminar impurezas y microorganismos remanentes en el albedo y así poder incrementar el rendimiento de extracción. (Cabarcas, E., Guerra, A., Henao, C. 2012).

Fig 3-9. Inactivación enzimática del albedo de naranja



Fuente: Elaboración Propia. 2022.

Una vez realizada la inactivación enzimática, el albedo ya está acondicionado para la extracción de la pectina cítrica.

3.3.7. HIDRÓLISIS ÁCIDA

Esta es la etapa más importante del proceso de obtención de pectina cítrica, pues durante la hidrólisis se solubiliza la pectina contenida dentro del albedo. Se toman 100g de albedo de naranja pre-tratada y se le añade agua destilada en proporciones 1:3 y se lleva a calentamiento en agitador magnético hasta alcanzar la temperatura óptima de trabajo que es entre 60°C y 80°C, la cual debe mantenerse constante durante el proceso de extracción que tiene tiempos entre 70 min y 90 min.

Una vez alcanzada la temperatura de operación es necesario ajustar los valores de pH a 1,5 y 2,5 y mantenerlos constantes a lo largo del proceso mediante la adición de ácido cítrico, por tanto, es necesario mantener una agitación constante. (Cabarcas, E., Guerra, A., Henao, C. 2012).

Fig 3-10. Hidrólisis ácida



Fuente: Elaboración Propia. 2022.

Una vez finalizado el tiempo de extracción la solución es enfriada en un baño de agua fría hasta alcanzar los 20°C, con el fin de evitar la degradación térmica de la pectina solubilizada en la solución.

3.3.8. FILTRACIÓN I

Durante esta parte del proceso es necesario separar la solución hidrolizada que contiene la pectina, de la materia sólida restante del albedo de naranja. En este caso para esta operación se pasa la solución por un filtro de tela (lienzo).

Fig 3-11. Filtración de la solución hidrolizada



Fuente: Elaboración Propia. 2022.

3.3.9. PRECIPITACIÓN

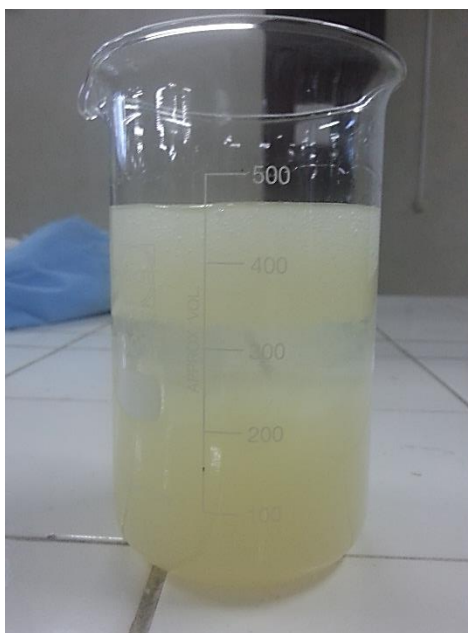
A la solución filtrada durante la etapa anterior, se le adiciona un volumen de etanol al 96%, equivalente al 60% en peso de la solución hidrolizada y se deja reposar por un tiempo de aproximadamente 12 horas, con la finalidad de separar la pectina contenida en dicha solución en forma de gel.

Fig 3-12. Precipitación de la pectina con etanol



Fuente: Elaboración Propia. 2022.

Fig 3-13. Formación de la solución bifásica luego de las 12hrs de reposo



Fuente: Elaboración Propia. 2022

3.3.10. FILTRACIÓN II

En esta etapa del proceso, la pectina obtenida que se encuentra como gel de la solución bifásica, es separada de la materia líquida, mediante filtración.

Por tanto, se utiliza un sistema compuesto por un kitazato con embudo Buchner conectados a una bomba de vacío, con la finalidad de separar completamente la pectina en forma de gel.

Fig 3.14. Filtración de la pectina gelificada

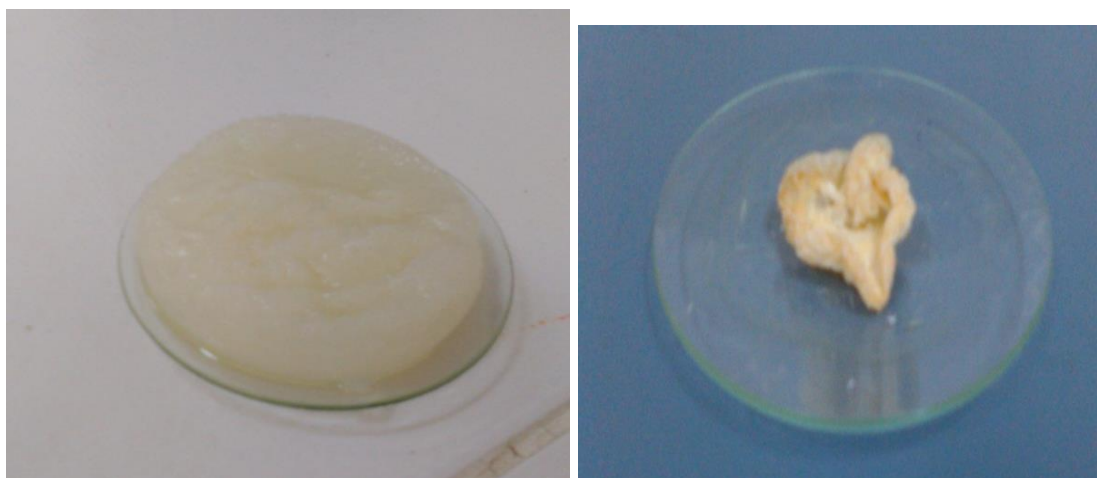


Fuente: Elaboración Propia. 2022.

3.3.11. SECADO

Una vez separada la pectina gelificada se recoge en vidrio reloj y se lleva a secar en una estufa a una temperatura de 45°C durante aproximadamente 24 horas.

Fig 3-15. Secado de la pectina



Fuente: Elaboración propia. 2022.

Para la elaboración de la curva de secado de pectina gelificada a pectina seca, se trabaja con los datos que han obtenido un mayor rendimiento de producto, partiendo de 100g de albedo previamente tratado, muestra de la cual se han obtenido 194,587g de pectina

húmeda y se realiza el secado a temperatura constante de 45°C durante 24 hrs. Obteniéndose, los resultados detallados en el siguiente cuadro de control.

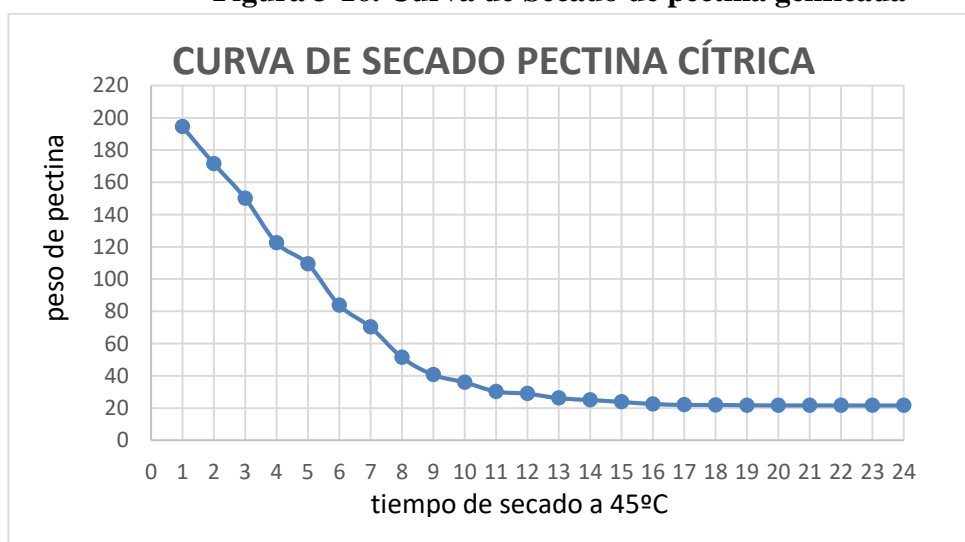
Tabla III-3. Datos de secado de pectina a temperatura constante hasta peso constante

TIEMPO (hrs)	PESO DE PECTINA (g)	TIEMPO (hrs)	PESO DE PECTINA (g)
1	194,587	13	26,175
2	171,591	14	25,069
3	150,129	15	23,873
4	122,457	16	22,561
5	109,376	17	22,007
6	83,838	18	21,975
7	70,214	19	21,788
8	51,457	20	21,706
9	40,658	21	21,706
10	36,011	22	21,688
11	30,312	23	21,683
12	28,955	24	21,683

Fuente: Elaboración propia 2022

Con los datos expuestos en el cuadro de arriba, se elabora la curva de secado de la pectina cítrica.

Figura 3-16. Curva de Secado de pectina gelificada



Fuente: Elaboración Propia 2022

3.3.12. MOLIENDA

Durante esta parte del proceso la pectina seca, obtenida en forma de chips, es colocada en un mortero de porcelana para triturarla y reducir el tamaño de partícula.

Fig 3-17. Molienda de la pectina



Fuente: Elaboración Propia. 2022.

3.3.13. TAMIZADO

La pectina en polvo obtenida en la etapa de la molienda se coloca en un tamiz de una malla N° 60 ASTM, con la finalidad de obtener un producto homogéneo.

Fig 3-18. Tamizado de pectina

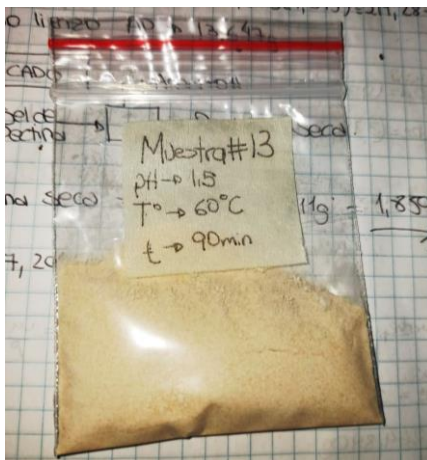


Fuente: Elaboración propia 2022

3.3.14. ENVASADO

En esta última etapa del proceso, el producto tamizado es envasado en bolsas de polietileno con cierre hermético para proteger el producto de la humedad, y se lo almacena en un lugar fresco y seco, para posteriormente realizar su caracterización fisicoquímica.

Fig 3-19. Envasado de pectina



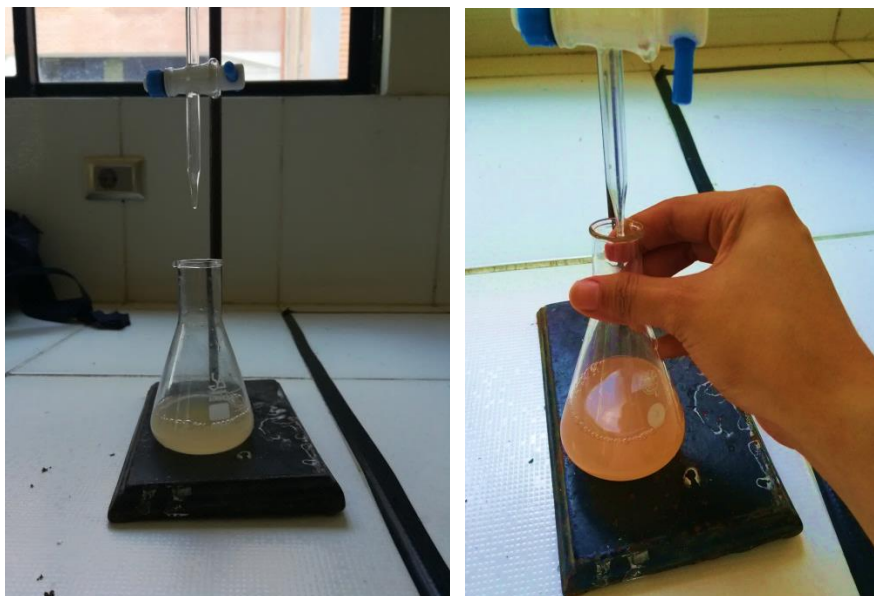
Fuente: Elaboración propia 2022

3.4. CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LA PECTINA CÍTRICA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARAS DE NARANJA.

3.4.1. DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE Y ACIDEZ LIBRE

De acuerdo con la metodología propuesta por Owens, se pesan 0,5g de pectina en un matraz Erlenmeyer de 250ml y se humedecen con 5ml de etanol al 96%. Posteriormente se adicionan 100ml de agua destilada y unas gotas de indicador fenoftaleína, se agita la solución. Para la valoración se titula con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N hasta viraje de color amarillo a rosa.

Fig 3-20. Determinación del Peso equivalente y Acidez libre

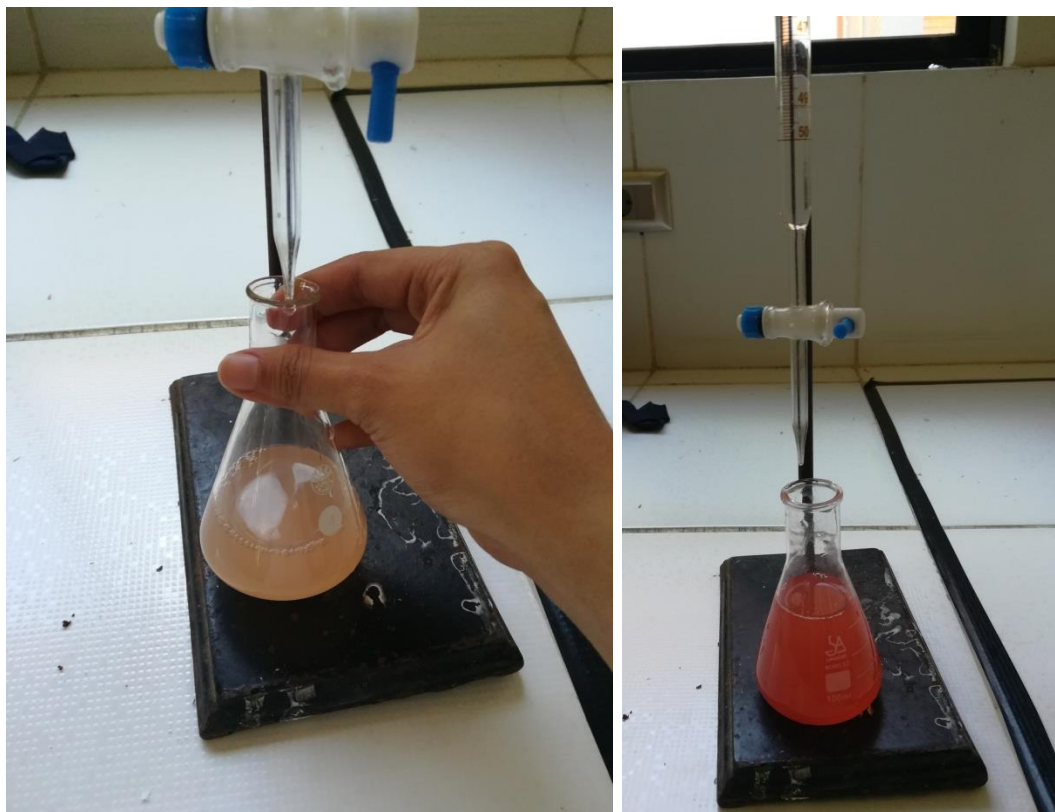


Fuente: Elaboración Propia 2022

3.4.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRUPOS METOXILO, GRADO DE ESTERIFICACIÓN Y PORCENTAJE DE ÁCIDO ANHIDRO GALACTURÓNICO (AAG)

A la solución obtenida de la determinación del peso equivalente y acidez libre, se le añaden 25ml de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N y se deja reposar la solución por 30 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente se le añaden 25ml de ácido clorhídrico (HCl) 0,25N, para luego titular la solución con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N hasta viraje de rosa a rojo por unos 20 segundos.

Fig 3-21. Determinación del Contenido de Grupos Metoxilo



Fuente: Elaboración Propia 2022

3.4.3. GRADO DE GELIFICACIÓN

Para determinar el grado de gelificación de la pectina obtenida y caracterizarla de manera óptima, se emplea la técnica descrita por Joseph y Baier (*JOSEPH, G. H.; BAIER, W. E. Methods of determining the firmness and Setting time of Pectin test Jellies, Food Technology, 3, 18, 1949*) donde se preparan cuatro soluciones pécticas, con cantidades entre 0,4g y 1,4g respectivamente y se adicionan 50ml de agua destilada a cada muestra para después llevar las mismas hasta ebullición de manera que se logre la disolución completa del soluto. Una vez alcanzada la ebullición se agregan +/-100g de sacarosa a cada muestra para alcanzar un °Brix entre 65 y 70, se agita para homogeneizar la solución por completo. Por último, se adiciona agua destilada a cada muestra hasta alcanzar un peso estándar de 150g y se corrige el valor del pH entre 3,2 y 3,5 y se dejan reposar las soluciones por un lapso de 24hrs, para posteriormente

evaluar las características del gel formado en cada muestra y determinar la viscosidad a una temperatura de 60°C.

3.5. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS EMPLEADOS EN EL PROCESO

3.5.1. MATERIALES DE LABORATORIO

Los materiales de laboratorio empleados en el presente trabajo están listados a continuación:

Tabla III-4. Detalle del material empleado en Laboratorio

MATERIAL DE LABORATORIO	TIPO	CAPACIDAD Y/O TAMAÑO
Contenedor	Vidrio pyrex	3,3 l
Cuchillo	acero inoxidable	mediano
Tabla	Plástica	Grande
Vidrio reloj	Vidrio	Grandes
Vasos de precipitado	Borosilicato 3.3	600ml- 100ml
Probeta	Borosilicato 3.3	100ml
Kitasato	Borosilicato 3.3	500ml
Embudo Büchner	Plástico PVC	Mediano
Varillas	Vidrio	Mediano
Espátula	Acero inoxidable	Mediano
Termómetro	Alcohol Orgánico	0°C-100°C
Bureta	Borosilicato 3.3	50ml
Matraz Erlenmeyer	Borosilicato 3.3	250ml
Mortero	Porcelana	Grande

Fuente: Elaboración propia 2022.

3.5.2. EQUIPOS

Los equipos empleados durante el desarrollo de la parte experimental para la obtención de la pectina cítrica se mencionan a continuación. Revisar ANEXO 1

1. Balanza mecánica
2. Balanza analítica
3. Balanza de precisión
4. Balanza granataria de tres apoyos
5. Cocina
6. Calentador-agitador magnético
7. pH-metro portátil
8. Bomba de vacío
9. Estufa
10. Tamiz vibratorio
11. Viscosímetro rotacional

3.5.3. REACTIVOS

Los reactivos empleados en la parte experimental de la obtención de pectina cítrica en polvo a partir de cáscara de naranja se mencionan a continuación.

3.5.3.1. ÁCIDO CÍTRICO (ANHIDRO)

Empleado en solución con agua destilada para la hidrólisis ácida, durante la extracción. Los niveles de pH de la solución para la hidrólisis se deben mantener constantes a lo largo del proceso, de acuerdo con los tiempos establecidos en el proyecto.

3.5.3.2. ALCOHOL ETÍLICO AL 96%

Empleado para la precipitación de la pectina y su obtención en forma de gel.

3.5.3.3. HIDRÓXIDO DE SODIO (NaOH) 0,1N y 0,25N

El hidróxido de Sodio es utilizado para la caracterización de la pectina en polvo, es decir para la determinación del Peso Equivalente, Acidez Libre, porcentaje de

Metoxilación, determinación de Ácido Anhidro Galacturónico y la esterificación de la pectina en polvo.

3.5.3.4. ÁCIDO CLORHÍDRICO 0,25N

Se utiliza para la valoración y caracterización de la pectina en polvo.

3.5.3.5. ROJO DE FENOL

Es el indicador empleado en la valoración para la determinación del porcentaje de metoxilación de la pectina en polvo.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

A continuación, se ofrecen los parámetros fisicoquímicos para el albedo de la cáscara de naranja determinados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla IV-1. Análisis Fisicoquímicos del albedo de cáscara de naranja

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	H ⁺	4,78
Cenizas	%	2,72
Humedad	%	89,9
Porcentaje: %p/p		

Fuente: CEANID 2022

4.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

Para la obtención de pectina cítrica del presente proyecto se han realizado 16 ensayos correspondientes al diseño factorial presentado en el acápite 3.5. DISEÑO FACTORIAL.

En cada ensayo se trabaja con 100g de albedo previamente acondicionado, obteniendo como resultado el cuadro que se presenta a continuación en base a la variable respuesta que es el rendimiento:

Tabla IV-2. Rendimiento de obtención de pectina

N° de experimento	Variables			Variable Respuesta		
	pH	T (°C)	t (min)	% (p/p) Rendimiento	Réplica	Promedio
1	1,5	60	70	1,714	1,524	1,619
2	2,5	60	70	1,231	1,953	1,592
3	1,5	80	70	2,452	1,187	1,8195
4	2,5	80	70	2,741	2,817	2,779
5	1,5	60	90	8,93	8,808	8,869
6	2,5	60	90	1,553	2,949	2,251
7	1,5	80	90	21,683	19,288	20,4855
8	2,5	80	90	1,867	1,429	1,648

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos, se puede observar que en el ensayo número 7, donde se trabaja con la variable pH a 1,5, a una temperatura de 80°C en un tiempo de extracción de 90 minutos, el rendimiento de obtención alcanza el 20,485% en promedio entre el ensayo y su réplica, siendo este el porcentaje de obtención más alto en comparación con el resto de los ensayos realizados.

Asimismo, es importante mencionar que si bien el ensayo 7, citado anteriormente, tiene el porcentaje de obtención más alto, a diferencia de los otros que presentan un porcentaje muy por debajo, el ensayo 5 posee el segundo rendimiento de obtención más alto con un 8,869% p/p.

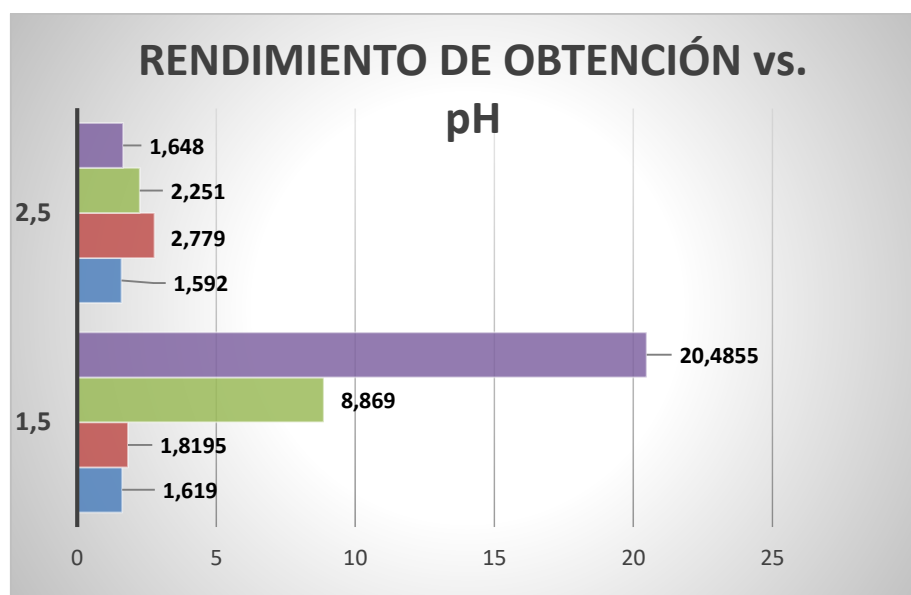
Lo importante y destacable de este segundo ensayo es que los rangos de las variables en comparación con el ensayo 5 son muy similares, puesto que la única diferencia es que el ensayo 5 se ha trabajado a una temperatura inferior de 60°C a la temperatura del ensayo 7 que se trabaja a 80°C y que presenta mayor rendimiento de obtención. Esta comparación deriva en un análisis costo-beneficio puesto que si bien la diferencia en

cuanto a la obtención del producto es cuantificable, 8,869% vs. 20,485%, se debe tomar en cuenta la cantidad de energía que se ha de emplear y el costo que la misma genera para obtener una mayor cantidad de producto.

Haciendo un análisis de manera similar para los ensayos que han obtenido los menores rendimientos de obtención, se puede decir que el rendimiento más bajo ha sido el ensayo 2, donde se ha trabajado a un pH de 2,5 a una temperatura de 60°C por un tiempo de 70 minutos, es decir una muestra totalmente opuesta al ensayo que ha obtenido el mayor rendimiento de obtención.

A continuación, se presenta un cuadro que muestra la variable respuesta, rendimiento en función al pH, a modo de ilustrar el análisis previamente desarrollado.

Figura 4-1. Variable rendimiento vs. pH



Fuente: Elaboración propia 2022.

4.2.1. ANÁLISIS DEL DISEÑO FACTORIAL

De acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos realizados, derivados del diseño de experimentos, se procede al análisis de varianza (ANOVA), para encontrar el modelo que muestre de manera efectiva el comportamiento de nuestra variable respuesta que es el rendimiento en función de las variables empleadas en el proceso, y

sus posibles interacciones (pH, temperatura y tiempo) y de esta manera observar la influencia de las mismas sobre la variable respuesta.

4.2.2. INFLUENCIA DEL pH TEMPERATURA Y TIEMPO EN EL RENDIMIENTO DE OBTENCION

Para el análisis de la influencia de las variables independientes sobre la variable respuesta, es importante considerar los efectos de cada variable sobre el rendimiento de manera independiente y la interacción de ellas y su efecto sobre la variable respuesta.

En el siguiente recuadro se exponen las interacciones trabajadas de las variables para el análisis estadístico.

Tabla IV-3. Efecto de las variables independientes en la variable respuesta

VARIABLE	EFECTO	RESPUESTA
pH	Principal	Rendimiento
Temperatura	Principal	
tiempo	Principal	
pH*Temperatura	Combinado	
pH*tiempo	Combinado	
Temperatura*tiempo	Combinado	

Fuente: Elaboración 2022

Una vez que se conocen las variables y sus posibles interacciones, el objeto del análisis de varianza es probar la significancia estadística de cada efecto al 5% y repartir la variabilidad de la respuesta, en este caso el Rendimiento, en segmentos separados para cada uno de los efectos mencionados anteriormente, por comparación de la media cuadrada, contra la estimación del error experimental.

Para que un efecto sea significativo en el análisis la significancia debe ser menor al 5%, de lo contrario el efecto no tiene significancia en el rendimiento de obtención. (Fernández, S., 2020). A continuación, se muestran los valores obtenidos del análisis.

Tabla IV-4. Análisis de Varianza y su efecto en el rendimiento para una significancia del 5%

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: RENDIMIENTO					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	Grados de Libertad (gl)	Media cuadrática	F	Significancia
Modelo corregido	579,432 ^a	6	96,572	17,874	0,000
Intersección	421,542	1	421,542	78,020	0,000
pH	150,344	1	150,344	27,826	0,001
temperatura	38,446	1	38,446	7,116	0,026
tiempo	161,849	1	161,849	29,955	0,000
pH * temperatura	31,545	1	31,545	5,838	0,039
pH * tiempo	174,082	1	174,082	32,219	0,000
temperatura * tiempo	23,165	1	23,165	4,287	0,068
Error	48,627	9	5,403		
Total	1049,601	16			
Total corregida	628,059	15			

Fuente: Elaboración propia 2022.

Haciendo un análisis del cuadro se puede observar que los tres efectos principales y dos de los valores combinados en función del pH, son significativos para el rendimiento para un nivel de confianza al 95%, pues sus valores se encuentran por debajo del 5%, colas de significación menor al 0,05.

Por lo tanto, como se puede observar en la tabla el efecto combinado tiempo*temperatura no es significativo para el rendimiento a este nivel de confianza.

4.2.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Cuando los factores son significativos se procede al cálculo del modelo matemático que mejor represente la experiencia realizada, para lo cual se realiza una regresión lineal y se introducen los efectos y las combinaciones significativas y se calculan los coeficientes para el modelo matemático. (Fernández, S., 2020).

Para la determinación de los coeficientes con los que se han de trabajar para la obtención del modelo matemático, se toman en cuenta los tres efectos principales, pH, temperatura y tiempo, además de dos interacciones, pH*temperatura y pH*tiempo.

Tabla IV-5. Coeficientes para el Modelo matemático

Coeficientes(a)							
Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	5,133	0,67		7,663	0	3,64	6,625
pH	-3,065	0,67	-0,489	-4,576	0,001	-4,558	-1,573
temperatura	1,55	0,67	0,247	2,314	0,043	0,058	3,043
tiempo	3,181	0,67	0,508	4,748	0,001	1,688	4,673
pH*temperatura	-1,404	0,67	-0,224	-2,096	0,062	-2,897	0,088
pH*tiempo	-3,299	0,67	-0,526	-4,924	0,001	-4,791	-1,806
a. Variable dependiente: Rendimiento							

Fuente: Elaboración propia 2022.

Como se puede observar en la tabla, para un nivel de confianza del 95% los efectos principales significativos son el pH y el tiempo y como efecto combinado, la interacción entre los efectos mencionados (pH*tiempo), esto colas de significación menores a 0,025.

Por tanto, es importante mencionar que tanto el efecto de la temperatura y su interacción con el pH, así como su interacción con el tiempo, no han de considerarse en el modelo matemático como variables significativas. Puesto, que es probable que el

efecto de la temperatura en los rangos propuestos en el presente proyecto entre 60°C y 80°C tengan una influencia representativa en la variable respuesta que es el rendimiento, pero no altamente significativa como para ser considerada dentro del modelo con la confiabilidad del 95%.

Es así que a continuación se presenta la tabla con los coeficientes para la elaboración de la regresión lineal del modelo matemático, de acuerdo a las nuevas condiciones.

Tabla IV-6. Coeficientes de las nuevas condiciones para el Modelo matemático

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
(Constante)	5,133	0,859		5,973	0	3,261	7,005
pH	-3,065	0,859	-0,489	-3,567	0,004	-4,938	-1,193
tiempo	3,181	0,859	0,508	3,701	0,003	1,308	5,053
pH*tiempo	-3,299	0,859	-0,526	-3,838	0,002	-5,171	-1,426
a. Variable dependiente: Rendimiento							

Fuente: Elaboración propia 2022.

El modelo matemático que resulta del ajuste de todos los datos contiene dos efectos principales, y la interacción entre ellos, los cuales son significativos para el presente proyecto, puesto que para un nivel de confianza del 95 % todos los valores de las colas de significación son menores a 0.025. Así es que del cálculo de los coeficientes para cada variable tenemos que el modelo es el siguiente:

$$\text{Rendimiento} = 5,133 - 3,065\text{pH} + 3,181\text{tiempo} - 3,299\text{pH} * \text{tiempo}$$

El objetivo del modelo obtenido es estandarizar y optimizar el proceso de obtención de pectina cítrica en función de las variables altamente significativas para el proceso propuesto. Es así que, lo que este modelo en específico ofrece al proceso propuesto

para la obtención de pectina cítrica es que tomando en cuenta las variables que son significativas el pH y el tiempo de extracción y la interacción entre ambos, sea posible obtener un mejor rendimiento como respuesta. Es importante ilustrar el comportamiento de la variable rendimiento en función de las variables significativas para el modelo matemático que se plantea.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre el rendimiento observado durante la experimentación y el rendimiento esperado aplicando el modelo matemático propuesto en el proyecto.

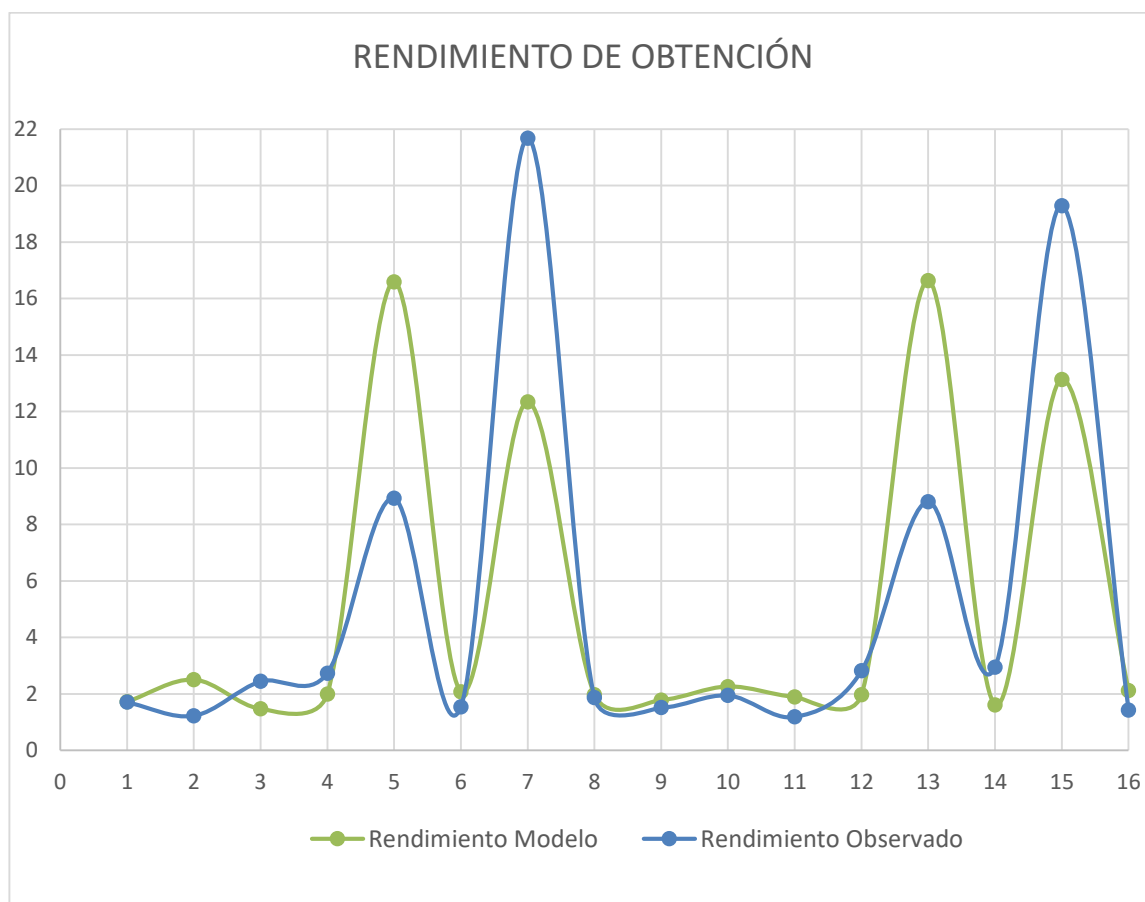
Tabla IV-7. Comparación del rendimiento observado y el rendimiento esperado con el modelo.

N° de experimento	Variables			Variable Respuesta	
	pH	T (°C)	t (min)	Rendimiento Observado	Rendimiento Modelo
1	1,5	60	70	1,71	1,72
2	2,5	60	70	1,23	2,50
3	1,5	80	70	2,45	1,48
4	2,5	80	70	2,74	2,0
5	1,5	60	90	8,93	16,59
6	2,5	60	90	1,55	2,08
7	1,5	80	90	21,68	12,34
8	2,5	80	90	1,87	1,98
RÉPLICA					
9	1,5	60	70	1,52	1,78
10	2,5	60	70	1,95	2,26
11	1,5	80	70	1,19	1,90
12	2,5	80	70	2,82	1,98
13	1,5	60	90	8,81	16,63
14	2,5	60	90	2,95	1,62
15	1,5	80	90	19,29	13,14
16	2,5	80	90	1,43	2,12

Fuente: Elaboración propia 2022.

Con fines didácticos y para un mejor análisis y discusión de los resultados, se presenta a continuación la representación gráfica que muestra el comportamiento del rendimiento aplicando el modelo propuesto juntamente con el rendimiento obtenido durante la experimentación.

Figura 4-2. Rendimiento Observado vs. Rendimiento Modelo



Fuente: Elaboración propia, 2022

Es evidente que al hacer la comparación entre ambas variables respuesta saltan a la vista ciertas diferencias. Tomando en cuenta que el efecto de la temperatura no es significativo para el proceso y haciendo esa corrección en el modelo propuesto, se puede observar que las respuestas del rendimiento donde la temperatura de operación se encuentra en el límite inferior presentan un mayor rendimiento, pues la misma variable al ser no significativa en el rango propuesto no presenta una influencia directa

en la respuesta; es más beneficioso para el proceso trabajar en el límite inferior de esta variable, lo que reduce los costos de obtención del producto.

Así mismo, en el modelo corregido se puede observar que los picos que presentan un mayor porcentaje de la variable respuesta dependen del pH de la solución durante la hidrólisis y el tiempo de la misma, además de la interacción entre ambos efectos.

El tiempo de extracción óptimo para la obtención de pectina es aquel donde se trabaja con el límite superior que son 90 minutos y el pH óptimo de trabajo está en el límite inferior que es 1,5 por tanto, en los ensayos donde exista la interacción de ambos efectos principales dentro de los rangos previamente citados han de garantizar un mayor rendimiento de obtención de pectina cítrica.

En síntesis, se puede decir que de las tres variables consideradas para la elaboración del presente proyecto en la obtención de pectina cítrica en polvo a partir de cáscaras de naranja que tienen como variable respuesta el rendimiento, dos de ellas, pH y tiempo de hidrólisis y la interacción de las mismas, son realmente significativas para dicho proceso. Dando pie a nuevas posibles investigaciones dentro de este campo y considerar otras variables dentro del proceso que puedan afectar la calidad de la pectina obtenida, la optimización el proceso para obtener una calidad específica de pectina, el análisis real de la aplicabilidad de la pectina obtenida en diferentes productos, como jaleas, recubrimiento de frutas, elaboración de cosmética artesanal y natural, su función para cultivos microbiológicos, etc.

En la tabla que se presenta a continuación se muestran diferentes investigadores que han obtenido pectina a partir de diferentes materias primas, se comparan con los datos obtenidos en este proyecto, los cuales pueden brindar información acerca de rangos o condiciones de operación, para la obtención de un producto de diferentes características y diferentes aplicaciones dentro de la industria.

Tabla IV-8. Referencias de Obtención de pectinas a partir de diferentes materias primas

Parámetros	Quiroz, D.	Cabarcas, E.	Noguera, L.	Vásquez, R.	Fredes C.	Muñoz, F.	Zegada, V.	Rodríguez, K.
	Residuos de cáscara de naranja	Cáscaras de plátano	Limón Persa	Cáscaras de plátano	Uva Concord	Frutos de Cocona	Naranja Citrus Sinensis HMO	Naranja Citrus Sinensis y Citrus Paradisi
*pH	1,5	1,5	1,5	3	2,5	2,2	2,17	3,2
*Temperatura	60°C	80°C	93°C	85°C	90°C	93+/-2°C	91°C	85+/-2°C
*tiempo	90	60	90	60	60	75	15	75
Rendim. prom %	16,6	20,29	11,35	20,68	3,23	11,8	16,3	39,56-12,52
Peso Equivalente	671,8	535,89	-	-	-	1786,5+/-53,6	-	-
Acidez Libre	1,49	1,87	-	-	-	4,91	-	-
AAG	52,46		-	12,72	-		62,4	92,41
Metoxilación	4,52	6,24	-	2,22	72,4	5,98	6,7	9,52
Esterificación	60,97	75%-95%	-	-	-	72,84	65,2	-
Humedad	7,41	10,66	-	11,04	-	10,27	-	-
Cenizas	1,01	1,77	-	0,54	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2022. (*) Datos correspondientes a las condiciones de extracción

4.2.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LA PECTINA OBTENIDA

A continuación, se ofrecen los parámetros fisicoquímicos para la caracterización de la pectina cítrica obtenida a partir de cáscara de naranja determinados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

La muestra que ha presentado el mayor rendimiento de obtención dentro de la experimentación, es la del ensayo número 7.

Tabla IV-9. Análisis Fisicoquímicos y microbiológico de la Pectina cítrica obtenida

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
pH	H+	2,46
Cenizas	%	1,01
Humedad	%	7,41
SALMONELLA		Neg/ 10g
Porcentaje: %p/p		

Fuente: CEANID 2022

Los datos obtenidos por el CEANID han de ser comparados en una tabla juntamente con la pectina comercial y toda la caracterización fisicoquímica de la pectina obtenida.

Así mismo, una vez realizados los 16 ensayos para la obtención de pectina cítrica, se han de tomar en cuenta los tres ensayos más destacados, en este caso los dos ensayos con valores más altos de rendimiento y el ensayo con el valor más bajo de rendimiento para la caracterización fisicoquímica del producto final.

4.2.4.1. DETERMINACIÓN DEL PESO EQUIVALENTE Y ACIDEZ LIBRE

Las caracterizaciones fisicoquímicas de las pectinas obtenidas se han realizado por duplicado para ofrecer confiabilidad en los resultados.

En los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla IV-10. Determinación Acidez libre y Peso equivalente

N° de experimento	Variables			Respuesta	Caracterización			
	pH	T (°C)	t (min)	% Rendimiento Promedio	Acidez libre meq carb/g pect		Peso equivalente mgpect/meq NaOH	
2	2,5	60	70	1,59	1,94	1,90	515,46	526,32
5	1,5	60	90	8,87	1,5	1,48	666,67	675,68
7	1,5	80	90	20,48	1,62	1,58	617,28	632,91

Fuente: Elaboración propia, 2022

Haciendo un análisis en los pesos equivalentes de las pectinas analizadas se puede observar que, los valores más altos se obtienen al trabajar con un pH bajo, lo cual es un indicio de que además de obtener mayor rendimiento de producto, se obtienen cadenas de pectina más largas a pH bajo.

Es importante mencionar que además de la influencia del pH, el tiempo de extracción también presenta influencia en la determinación de estas características; al aumentar el peso equivalente y por tanto la longitud de las cadenas de pectina, la acidez libre disminuye. Sin embargo, existe una contrariedad analizando la acidez de la pectina del ensayo 2, pues si bien su peso es menor y por tanto su longitud de cadena también, la acidez libre incrementa considerablemente en comparación con las otras pectinas en análisis.

Esto puede deberse a un cambio en la naturaleza de los grupos carboxilo que componen la cadena de la pectina, o presentar impurezas contenidas dentro de la cadena o provenientes del método y las condiciones de extracción.

4.2.4.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GRUPOS METOXILO, GRADO DE ESTERIFICACIÓN Y PORCENTAJE DE ÁCIDO ANHIDRO GALACTURÓNICO (AAG)

En la tabla siguiente se pueden observar los resultados obtenidos para el grado de esterificación, el porcentaje de metoxilación y ácido anhidro galacturónico (AAG), de igual manera los análisis se hacen por duplicado, para confiabilidad de los resultados.

Tabla IV-11. Determinación de grupos metoxilo, esterificación y ácido anhidro galacturónico

N° de experimento	Variables			Respuesta	Caracterización					
	pH	T (°C)	t (min)	% Rendimiento Promedio	AAG (%)		Metox (%)		Grado Esterif (%)	
2	2,5	60	70	1,59	49,42	51,57	1,98	2,78	34,12	40,19
5	1,5	60	90	8,87	54,64	50,27	5,02	4,01	62,42	59,52
7	1,5	80	90	20,48	59,10	53,15	6,30	5,83	66,54	64,87

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

Al realizar la cuantificación del ácido anhidro galacturónico (AAG), se establece la pureza que tiene la cadena péctica en cuanto al ácido principal que la conforma, y como se puede observar todas las cadenas son de pureza media y nos reflejan que el porcentaje restante está formado por otro tipo de componentes como azúcares ramificados, sales o aminas los cuales aportan cualidades diferentes a las cadenas, haciendo que cada una tenga un uso diferente.

El porcentaje de metoxilación refleja el comportamiento que ha de tener la pectina y por tanto la manera más óptima de trabajo. Se observa que las pectinas caracterizadas son de bajo metoxilo pues su porcentaje se encuentra por debajo del 50%, lo cual, de acuerdo con la teoría necesitan de cierta cantidad de cationes de calcio para poder gelificar de acuerdo al uso que se le quiera dar, sin embargo, el pH para trabajar con

esta categoría de pectinas es un rango amplio de entre 1 a 7, hace que sea posible aplicarla en la industria.

El grado de esterificación brinda información específica acerca de las condiciones de trabajo que han de ser necesarias para aprovechar de manera óptima la pectina obtenida. Si las pectinas poseen un grado de esterificación por encima del 50%, requieren rangos de pH controlados para su utilización (2,8- 3,5), mayor cantidad de adición de azúcares (sacarosa) para la formación de geles (+ 60% sólidos solubles. °Brix). (Ferreira, S. 2007).

Así mismo, si poseen un grado de esterificación por debajo del 50% su rango de pH es mucho más amplio, pues se puede aplicar en rangos de 1 a 7, sin embargo, no pueden formar geles estables con sacarosa (no más del 55%) o con adición de dextrosa, además requieren cationes divalentes para la formación del gel, generalmente Calcio en proporciones del 0,01% al 0,1% p/p. y dependiendo de su reactividad con el Calcio, presentan cierto porcentaje de amidación en sus cadenas. (Nizama, M. 2015).

Como se puede observar en el quinto y séptimo experimento respectivamente, la pectina obtenida posee más del 50% de esterificación, lo cual, indica que puede comportarse como una pectina de alto o medio metoxilo y requiere rangos específicos de operación mencionados anteriormente. Este tipo de pectinas son más aplicables en la industria alimenticia para su utilización dentro de preparación de mermeladas, bebidas, lácteos, etc.

En el segundo experimento se puede observar que la tendencia que sigue este tipo de pectina es de bajo metoxilo, pues posee menos del 50% de esterificación y menos del 50% de metoxilación. Si bien son aplicables en un rango más amplio de pH se debe tomar en cuenta que requieren otro tipo de condiciones para su óptima aplicación, pues al no poder formar geles estables con altas cantidades de azúcar no es bien aplicada en la industria alimenticia. Es así que este tipo de pectinas son más aplicables en la industria farmacéutica y cosmética.

4.2.4.3. GRADO DE GELIFICACIÓN

En la tabla que se presenta a continuación, se pueden observar los resultados obtenidos para el grado de gelificación de igual manera los análisis se hacen por duplicado, para confiabilidad de los resultados.

Tabla IV-12. Determinación del grado de Gelificación (°SAG)

N° de experimento	Variables			Respuesta	Caracterización		
	pH	T (°C)	t (min)	Promedio	°SAG	Viscosidad (mPa*s)	Azúcar/pect
2	2,5	60	70	1,59	75	42,45	60/0,8
5	1,5	60	90	8,87	155	78,05	60/0,4
7	1,5	80	90	20,48	155	79,39	60/0,4

Fuente: Elaboración propia, 2022

Como se puede observar en la tabla la determinación del grado de gelificación o °SAG, presenta resultados más altos con las pectinas que se han obtenido al trabajar con pH más bajos, es así que además de obtener mayor rendimiento de producto, el mismo presenta un comportamiento como el explicado a lo largo de la caracterización fisicoquímica del producto, es decir, si bien las pectinas obtenidas son de baja metoxilación y tienen un amplio espectro de aplicación dentro de la industria, el quinto y séptimo experimento respectivamente, presentan una tendencia a operar como pectinas de alto metoxilo pues se encuentran altamente esterificadas y la formación de gel estable se realiza de manera óptima en presencia de sacarosa.

Así mismo se puede observar que la pectina que tiene menor grado de gelificación o °SAG, pertenece al segundo experimento, ya que se comporta como una pectina de bajo metoxilo pues al requerir menor cantidad de azúcar para formar un gel más estable su viscosidad disminuye y requiere mayor cantidad de pectina para poder formar un gel.

Por tanto, necesita condiciones diferentes que permitan una correcta formación del gel, para evitar cristalizaciones de azúcar al requerir su desarrollo en medios menos azucarados, y pH más controlados, lo que puede ser fuente de un estudio posterior.

En cuanto a la viscosidad de los geles, es importante mencionar que, al requerir mayores cantidades de pectina, la viscosidad y la consistencia del gel en estudio disminuyen, lo cual es evidente al comparar el resultado de la viscosidad gel del segundo experimento que requiere mayor cantidad de pectina, pero la viscosidad que presenta es menor que los otros geles formados por su comportamiento al ser de bajo metoxilo.

4.2.5. COMPARACIÓN DE PECTINA INDUSTRIAL Y LA PECTINA CÍTRICA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARAS DE NARANJA

En la tabla que se presenta a continuación se puede observar la comparación que se hace entre la pectina obtenida y una pectina que se comercializa en el mercado local, marca Kelco de industria brasilera.

Tabla IV-13. Comparación pectina comercial y pectina obtenida experimentalmente.

PARÁMETRO	PECTINA MEDIUM SET	PECTINA LOW	PECTINA ENSAYO 2	PECTINA ENSAYO 5	PECTINA ENSAYO 7
Color	crema ligero	crema ligero, un poco gris o marrón	crema ligero	amarillo/ marrón ligero	amarillo/ marrón ligero
°SAG	145-155		75	155	155
% metoxilación	50%	-50%	-50%	-50%	-50%
Grado de Esterificación	no espec. 65% tip	22-26%	37,159	60,974	65,705
pH	2,9-3,6	4-4,8	-	-	2,46
Humedad	12%	12%	-	-	7,41
Cenizas	5%	5%	-	-	1,01
Ácido anhídrido galacturónico	65%	65%	50,494	52,454	56,124
uso	0,3-1%	2-7%		0,6	0,6

Fuente: Elaboración propia 2022.

4.3. BALANCE DE MATERIA PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA

El objetivo del balance de materia es determinar los flujos de masa y las pérdidas generadas a lo largo del proceso.

Para la realización del balance de materia, se toma como base de cálculo el ingreso de 1000g de cáscara, la cual va a ser tratada y acondicionada para su posterior extracción, de acuerdo con el diagrama de flujo del acápite 3.6. Descripción del proceso de obtención de pectina cítrica en polvo a partir de cáscara de naranja.

4.3.1. RECOLECCIÓN DE CÁSCARA DE NARANJA

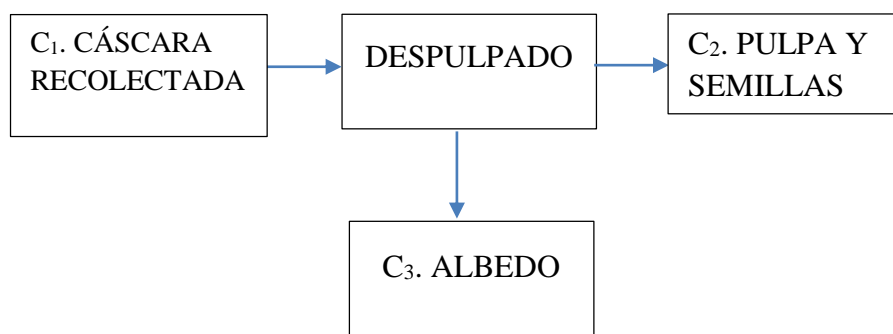
Como se menciona con anterioridad se ha de trabajar sobre una base de cálculo de 1000g de cáscara recolectada.

4.3.2. DESPULPADO

De acuerdo a los datos obtenidos experimentalmente, la pulpa y semillas remanentes corresponden al 82,955% del total de la cáscara que se recolecta.

Por tanto, el balance para el proceso de despulpado queda de la siguiente manera:

Figura 4-3. Proceso de Despulpado



Se tiene:

$$C_1 = C_2 + C_3 \quad \text{Ec.4.1}$$

$$C_1 = 1000\text{g}$$

$$C_2 = 0,82955 * C_1 = 0,82955 * 1000\text{g} = 829,55\text{g de pulpa y semillas}$$

Reemplazando y despejando en Ec. 4.1

$$C_3 = 170,450 \text{ g de albedo}$$

4.3.3. CORTADO

La cantidad de albedo que se obtiene se reduce a trazos de 1cm*1cm aprox., por tanto la cantidad que ingresa al proceso de corte es la misma que sale.

Figura 4-4. Proceso de Cortado



Se tiene:

$$C_3 = C_4 \quad \text{Ec 4.2}$$

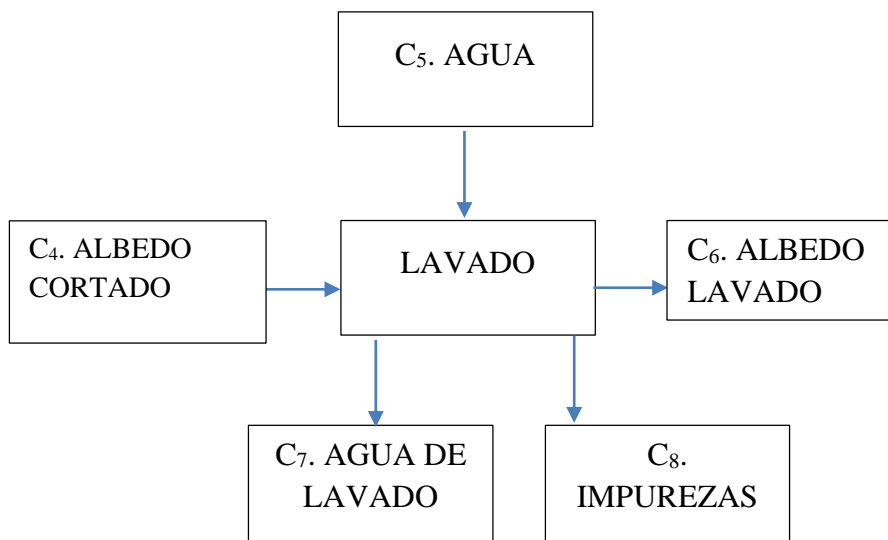
Por tanto:

$$C_4 = 170,450 \text{ g albedo cortado}$$

4.3.4. LAVADO

Para el lavado del albedo la relación de agua albedo es 3:1, y para la densidad del agua se considera 1g/ml.

Figura 4-5. Proceso de Lavado



Se tiene:

$$C_4 + C_5 = C_6 + C_7 + C_8 \quad \text{Ec 4.3}$$

Considerando:

$$C_4 = 170,450\text{g}$$

$$\rho_{\text{agua}} = 1\text{g/ml}$$

$$C_5 = 3 * C_4 = 511,35\text{g}$$

De la experimentación tenemos que las impurezas eliminadas corresponden al 1,67% y la recuperación del agua de lavado corresponde al 80% del ingreso inicial.

Entonces:

$$C_8 = 0,0167 * (C_4 + C_5) = 0,0167 * 681,800\text{g} = 11,363\text{g de impurezas}$$

$$\text{Si } C_7 = 0,8 * C_5 = 0,8 * 511,35\text{g} = 409,080\text{g de agua recuperada}$$

Por tanto, reemplazando en Ec 4.3:

$$C_6 = (C_4 + C_5) - C_8 - C_7$$

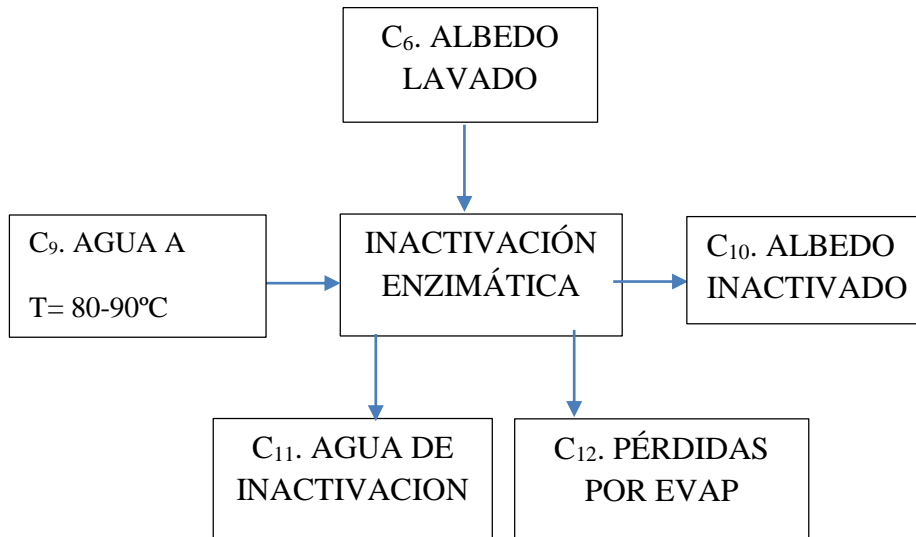
$$C_6 = (170,450\text{g} + 511,35\text{g}) - 11,363\text{g de impurezas} - 409,080\text{g de agua recuperada}$$

$$C_6 = 261,357\text{g de albedo lavado}$$

4.3.5. INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA

La cantidad de agua empleada para la inactivación enzimática se trabaja en base al peso del albedo lavado en una relación de 3:1.

De la experimentación se sabe que el agua que se recupera de la inactivación corresponde al 86,4% del agua que ingresa para el proceso. Y las pérdidas por evaporación corresponden al 3%

Figura 4-6. Proceso de Inactivación Enzimática

Se tiene:

$$C_6 + C_9 = C_{10} + C_{11} + C_{12} \text{ Ec.4.4}$$

Considerando que:

$C_6 = 261,357\text{g}$ de albedo lavado

$\rho_{\text{agua}} = 1\text{g/ml}$

$C_9 = 3 * C_6 = 3 * 261,357\text{g}$ de albedo lavado = $784,07\text{g}$ de agua

$C_{11} = 0,864 * C_9 = 0,864 * 784,07\text{g}$ de agua = $678,034\text{g}$ de agua recuperada de inact.

$C_{12} = 0,03 * (C_6 + C_9) = 0,03 * (261,357\text{g} + 784,07\text{g}) = 31,3628$ de agua evaporada

Reemplazando todo en Ec.4.4 se tiene:

$$C_{10} = (C_6 + C_9) - C_{11} - C_{12}$$

$C_{10} = (261,357\text{g} + 784,07\text{g}) - 678,034\text{g}$ de agua recuperada - $31,3628$ de agua evaporada

$$C_{10} = 336,030\text{g}$$
 de albedo inactivado

Una vez inactivado el albedo, el mismo ya puede ser empleado para la extracción de la pectina cítrica.

El rendimiento del proceso de acondicionamiento de la materia prima para su posterior extracción se muestra a continuación:

$$\%RENDIMIENTO \text{ mat. prima} = \frac{\text{masa de albedo inactivado}}{\text{masa de cáscara recolectada}} * 100\%$$

Es así que se obtiene:

$$\%RENDIMIENTO \text{ mat. prima} = \frac{336,03g}{1000g} * 100\%$$

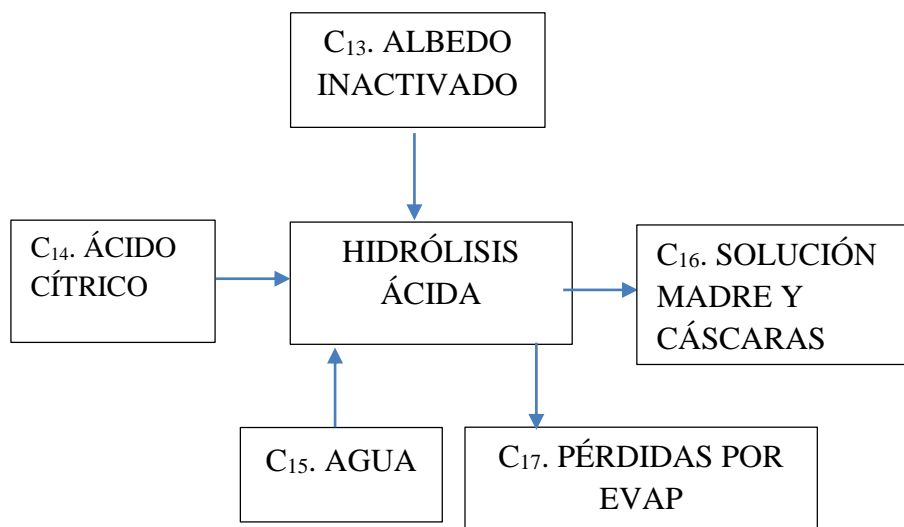
$$\%RENDIMIENTO \text{ mat. prima} = 33,60\%$$

4.3.6. HIDRÓLISIS ÁCIDA

Para la determinación de la cantidad de agua como se ha mencionado con anterioridad la relación masa de albedo y agua es de 1:3 respectivamente. Y las pérdidas por evaporación corresponden al 3,73% del ingreso inicial.

Se emplean 21,57g de ácido cítrico para reducir el pH de la solución a 1,5.

Figura 4-7. Proceso de Hidrólisis



Se tiene:

$$C_{13} + C_{14} + C_{15} = C_{16} + C_{17} \quad \text{Ec.4.5}$$

Se considera que:

$$C_{13}=C_{10}= 336,03\text{g de albedo inactivado}$$

$$C_{14}= 21,57\text{g de ácido cítrico}$$

$$C_{15}= 3*C_{13}= 3* 336,03\text{g}= 1008,09\text{g de agua}$$

$$\rho \text{ agua}= 1\text{g/ml}$$

$$C_{17}= 0,0373*C_{15}= 0,0373*1008,09\text{g de agua}= 37,64\text{g de agua evaporada}$$

Por tanto, se despeja de Ec4.5:

$$C_{16}= (C_{13}+C_{14}+C_{15})- C_{17}$$

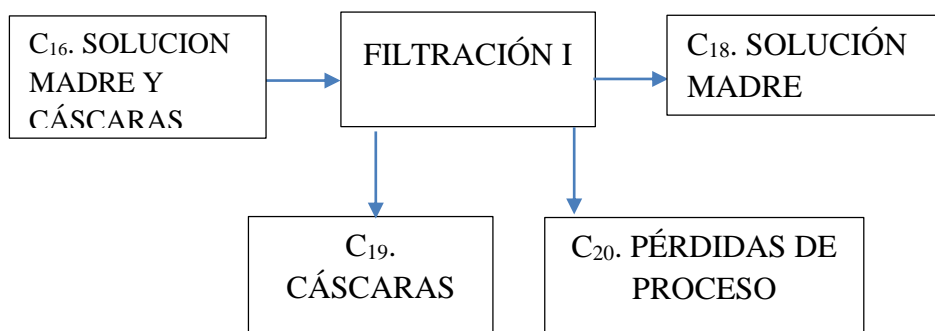
$$C_{16}= (336,03\text{g} + 21,57\text{g} + 1008,09\text{g}) - 37,64\text{g}$$

$$C_{16}= 1328,04\text{g de solución madre y cáscaras}$$

4.3.7. FILTRACIÓN I

La filtración permite la separación del bagazo o cáscara y la solución hidrolizada o solución madre que contiene la pectina. De la experimentación se tiene que las cáscaras separadas corresponden al 9,26% de la solución hidrolizada y la recuperación de la misma corresponde al 84,62%

Figura 4-8. Proceso de Filtración I



Se tiene:

$$C_{16}= C_{18}+C_{19}+C_{20} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Se considera que:

$$C_{18} = 0,8462 * C_{16} = 0,8462 * 1328,0446g = 1123,82g \text{ de solución madre hidrolizada}$$

$$C_{19} = 0,0926 * C_{16} = 0,0926 * 1328,0446g = 122,98g \text{ de cáscara o bagazo}$$

Despejando Ec. 4.6

$$C_{20} = C_{16} - C_{18} - C_{19}$$

$$C_{20} = 1328,04g - 1123,82g - 122,98g$$

$$C_{20} = 81,24g \text{ de pérdidas en el proceso}$$

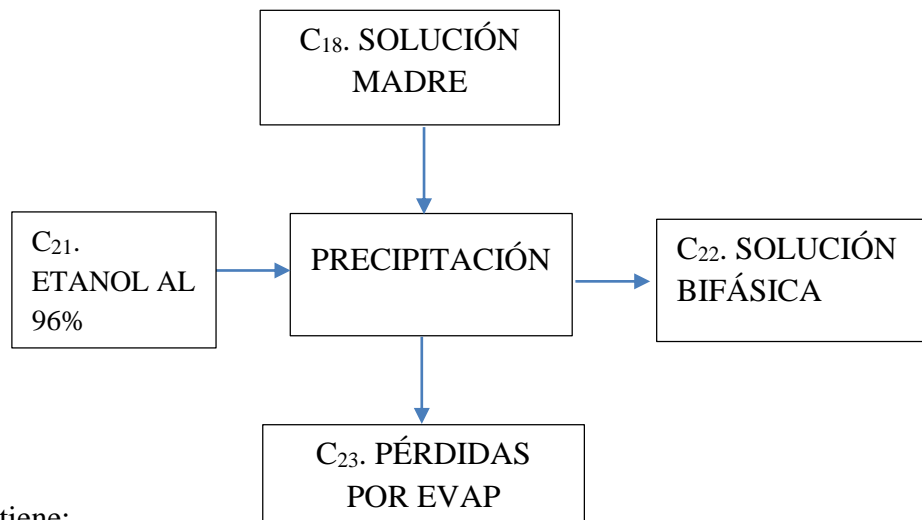
4.3.8. PRECIPITACIÓN

La solución que contiene la pectina hidrolizada se precipita con etanol al 96% en una relación del 60% de la solución hidrolizada obtenida y la misma se deja reposar por 12 horas formando una solución bifásica.

Se considera que la densidad del etanol es $\rho_{\text{etanol}} = 0,805g/ml$.

De la experimentación se sabe que la solución bifásica corresponde al 87,1% del ingreso.

Figura 4-9. Proceso de precipitación



Se tiene:

$$C_{18} + C_{21} = C_{22} + C_{23} \text{ Ec. 4.7}$$

Considerando que:

$C_{18} = 1123,82\text{g}$ de solución madre hidrolizada

$C_{22} = 0,871 \cdot (C_{18} + C_{21}) = 0,871 \cdot (1123,82\text{g} + 674,29\text{g}) = 1566,10\text{g}$ solución bifásica

$C_{21} = 0,6 \cdot C_{18} = 0,6 \cdot 1123,82\text{g} = 674,29\text{g}$ de etanol al 96%

$\rho_{\text{etanol}} = 0,805\text{g/ml}$

Si $\rho = \frac{m}{V}$ y $\rho_{\text{etanol}} = 0,805\text{g/ml}$, entonces el volumen de alcohol que se ha de agregar a la solución hidrolizada corresponde a:

$$V = \frac{m}{\rho} = V = \frac{674,29\text{g de etanol}}{0,805\text{g/ml}} \text{ por tanto el volumen es equivalente a } 837,63\text{ml.}$$

Por tanto, se despeja de la Ec 4.7.:

$$C_{23} = (C_{18} + C_{21}) - C_{22}$$

$$C_{23} = (1123,82\text{g} + 674,29\text{g}) - 1566,10\text{g}$$

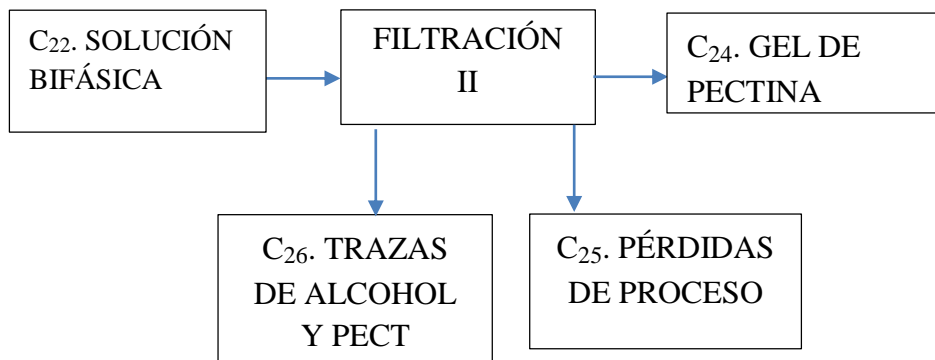
$C_{23} = 232,01\text{g}$ de agua/alcohol evaporado después de 12hrs.

4.3.9. FILTRACIÓN II

Se separan el gel de pectina de la solución con trazas de alcohol y pectina

El gel de pectina que se obtiene corresponde 42,4% y las trazas separadas corresponden al 56,6%.

Figura 4-10. Proceso de Filtración II



Se tiene:

$$C_{22} = C_{24} + C_{25} + C_{26} \quad \text{Ec. 4.8.}$$

$C_{24} = 0,424 * C_{22} = 0,424 * 1566,10 \text{g solución bifásica} = 632,71 \text{g de gel de pectina}$

$C_{26} = 0,566 * C_{22} = 0,566 * 1566,10 \text{g solución bifásica} = 886,41 \text{g de trazas alcohol}$

Se reemplaza y despeja en la Ec 4.8.

$$C_{25} = C_{22} - C_{24} - C_{26}$$

$$C_{25} = 1566,10 \text{g} - 632,71 \text{g} - 886,41 \text{g}$$

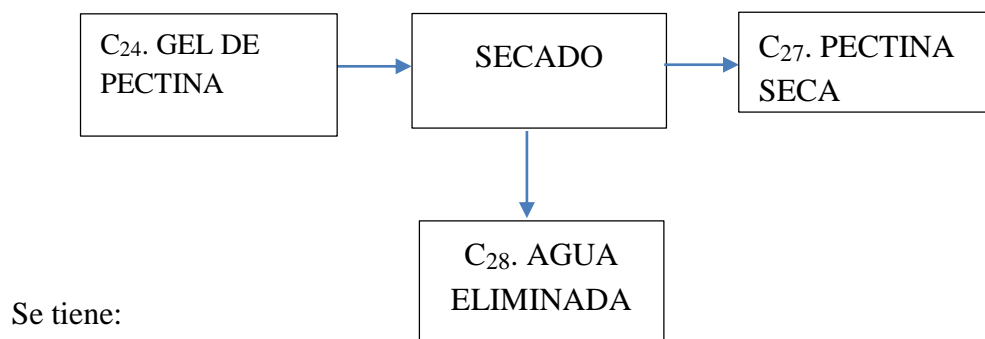
$$C_{25} = 46,98 \text{g de pérdidas en el proceso}$$

4.3.10. SECADO

El Secado se realiza en un secador de bandejas a una temperatura constante de 45°C hasta peso constante.

La cantidad de agua que se elimina del gel corresponde al 88% del peso del gel ingresado.

Figura 4-11. Proceso de Secado



$$C_{24} = C_{27} + C_{28} \quad \text{Ec. 4.9.}$$

Se considera:

$$C_{28} = 0,88 * C_{24} = 0,88 * 632,71 \text{g de gel de pectina} = 556,78 \text{g de agua eliminada}$$

Reemplazando y despejando en la Ec. 4.9.:

$$C_{27} = C_{24} - C_{28}$$

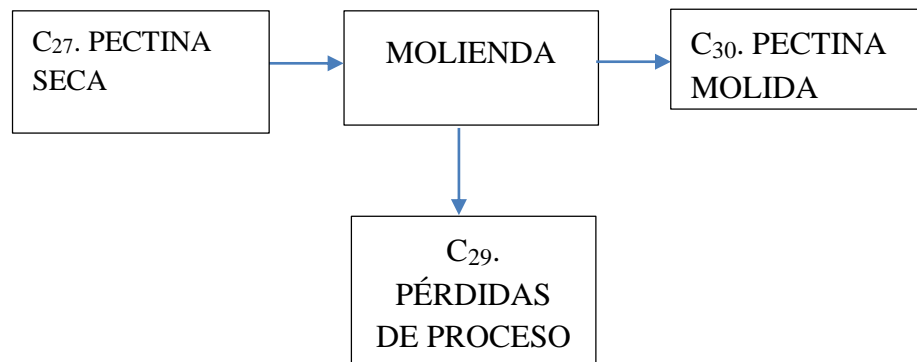
$$C_{27} = 632,71\text{g} - 556,78\text{g}$$

$$C_{27} = 75,92\text{g de pectina seca.}$$

4.3.11. MOLIENDA

El objetivo es obtener un polvo fino para su aplicabilidad en la industria. Las pérdidas de la molienda corresponden al 18,7% del ingreso.

Figura 4-12. Proceso de Molienda



Se tiene:

$$C_{27} = C_{29} + C_{30} \text{ Ec. 4.10}$$

Se conoce que:

$$C_{29} = 0,187 * C_{27} = 0,187 * 75,92\text{g de pectina seca} = 14,20\text{g de pérdida}$$

Se reemplaza y despeja en Ec. 4.10

$$C_{30} = C_{27} - C_{29}$$

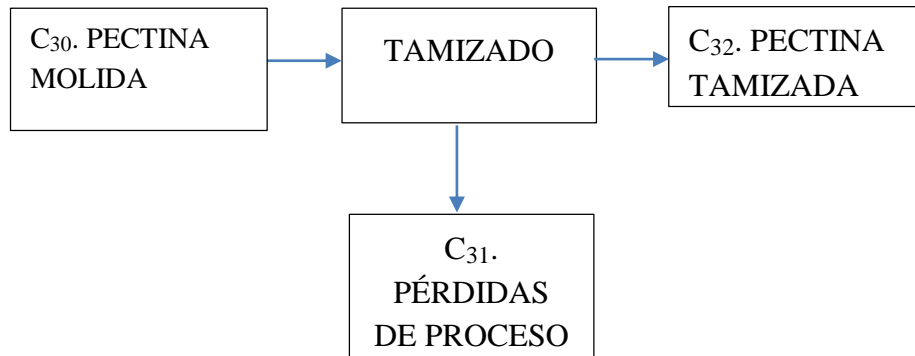
$$C_{30} = 75,92\text{g de pectina seca} - 14,20\text{g de pérdida}$$

$$C_{30} = 61,73\text{g de pectina molida}$$

4.3.12. TAMIZADO

El tamizado se realiza a través de una malla N° 60ASTM. Las pérdidas correspondientes a este proceso, de acuerdo a la experimentación corresponden al 2.54% del ingreso.

Figura 4-13. Proceso de Tamizado



Se tiene:

$$C_{30} = C_{31} + C_{32} \text{ Ec. 4.11.}$$

$$C_{31} = 0,0254 * C_{30} = 0,0254 * 61,73 \text{ g de pectina molida} = 1,57 \text{ g de pérdidas}$$

Se reemplaza y despeja en Ec. 4.11

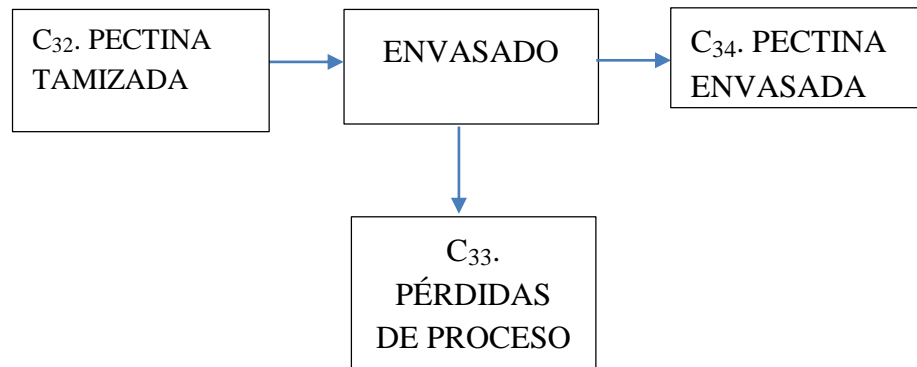
$$C_{32} = C_{30} - C_{31}$$

$$C_{32} = 61,73 \text{ g de pectina molida} - 1,57 \text{ g de pérdidas}$$

$$C_{32} = 60,16 \text{ g de pectina tamizada}$$

4.3.13. ENVASADO

La pectina es conservada en bolsa de polietileno con cierre hermético y se conserva a temperatura ambiente. Las pérdidas en este proceso corresponden al 1%

Figura 4-14. Proceso de Envasado

Se tiene:

$$C_{32} = C_{33} + C_{34} \text{ Ec 4.12.}$$

$$C_{33} = 0.01 * C_{32} = 0.01 * 60,16 \text{ g de pectina tamizada} = 0,60 \text{ g de pérdidas en el proceso.}$$

Se reemplaza y despeja en Ec. 4.12

$$C_{34} = C_{32} - C_{33}$$

$$C_{34} = 60,16 \text{ g de pectina tamizada} - 0,60 \text{ g de pérdidas}$$

$$C_{34} = 59,56 \text{ g de pectina envasada}$$

El rendimiento del proceso de extracción se muestra a continuación:

$$\% \text{RENDIMIENTO extracción} = \frac{\text{masa de pectina envasada}}{\text{masa de albedo acondicionado}} * 100\%$$

Es así que se obtiene:

$$\% \text{RENDIMIENTO extracción} = \frac{59,56 \text{ g}}{336,03 \text{ g}} * 100\%$$

$$\% \text{RENDIMIENTO extracción} = 17,72\%$$

A continuación, se presenta un cuadro resumen de las corrientes y sus datos para abordar cada proceso.

Tabla IV- 14. Tabla resumen de corrientes másicas para el acondicionamiento de la materia prima.

BALANCE DE MATERIA			
PROCESO	CORRIENTE	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD (g)
DESPULPADO	C ₁	recolección de cáscara	1000
	C ₂	pulpa y semillas	829,55
	C ₃	albedo	170,45
CORTADO	C ₃	albedo	170,45
	C ₄	albedo cortado	170,45
LAVADO	C ₄	albedo cortado	170,45
	C ₅	agua	511,35
	C ₆	albedo lavado	261,36
	C ₇	agua de lavado	409,08
	C ₈	impurezas	11,36
INACTIVACIÓN ENZIMATICA	C ₆	albedo lavado	261,36
	C ₉	agua 80°C	784,07
	C ₁₀	albedo inactivado	336,03
	C ₁₁	agua inactivado	678,03
	C ₁₂	pérdidas evaporación	31,36

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Tabla IV- 15. Tabla resumen de corrientes másicas para la extracción de pectina

BALANCE DE MATERIA			
PROCESO	CORRIENTE	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD (g)
HIDRÓLISIS ACIDA	C ₁₃	albedo inactivado	336,03
	C ₁₄	ácido cítrico	21,57
	C ₁₅	agua	1008,09
	C ₁₆	soluc. madre+cásc.	1328,04
	C ₁₇	agua evaporada	37,64
FILTRACION I	C ₁₆	soluc. madre+cásc	1328,04
	C ₁₈	soluc. madre	1123,82
	C ₁₉	cáscara	122,98
	C ₂₀	pérdidas sol+cásc	81,24
PRECIPITACIÓN	C ₁₈	soluc. madre	1123,82
	C ₂₁	etanol 96%	674,29
	C ₂₂	soluc. bifásica	1566,10
	C ₂₃	pérdidas evaporac.	232,01
FILTRACION II	C ₂₂	soluc. bifásica	1566,10
	C ₂₄	gel de pectina	632,71
	C ₂₅	pérdidas filtración	46,98
	C ₂₆	trazas alcohol pectina	886,41
SECADO	C ₂₄	gel de pectina	632,71
	C ₂₇	pectina seca	75,92
	C ₂₈	agua evaporada	556,78
MOLIENDA	C ₂₇	pectina seca	75,92
	C ₂₉	pérdidas	14,20
	C ₃₀	pectina molida	61,73
TAMIZADO	C ₃₀	pectina molida	61,73
	C ₃₁	pérdidas tamiz	1,57
	C ₃₂	pectina tamizada	60,16

BALANCE DE MATERIA			
PROCESO	CORRIENTE	ESPECIFICACIÓN	CANTIDAD (g)
ENVASADO	C ₃₂	pectina tamizada	60,16
	C ₃₃	pérdida envasado	0,60
	C ₃₄	pectina envasada	59,56

Fuente: Elaboración propia 2022.

4.4. BALANCE DE ENERGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA CÍTRICA A PARTIR DE CÁSCARA DE NARANJA

Para la determinación de la energía requerida para la extracción de pectina se considera los procesos de hidrólisis y secado.

4.4.1. HIDRÓLISIS ÁCIDA

Para la determinación de la energía requerida para este proceso se parte de la siguiente ecuación.

$$Q_{req} = m_{pect\ hydr} * Cp * (T_{hydr} - T_{inic}) + m_{agua\ evap} * \lambda_{vap\ agua}$$

Se tiene que:

$$C_{16} = 1328,04g = 1,328kg$$

$$Cp = 0,8737 \text{ kcal/kg}^{\circ}K$$

$$T_{inicial} = 20^{\circ}C = 293,15^{\circ}K$$

$$T_{de\ hidrólisis} = 80^{\circ}C = 353,15^{\circ}K$$

$$m_{agua\ evap} = C_{17} = 37,6454g \text{ de agua evaporada} = 0,0376kg$$

$$\lambda \text{ a } 80^{\circ}C = 563,22kcal/kg$$

Se reemplazan todos los valores:

$$Q_{req} = 1,328kg * 0,8737 \text{ kcal/kg} * ^{\circ}K * (353,15^{\circ}K - 293,15^{\circ}K) + 0,0376kg * 563,22kcal/kg$$

$$Q_{req} = 90,82kcal$$

4.4.2. SECADO

Para la determinación de la energía requerida para este proceso se parte de la siguiente ecuación.

$$Q_{req} = m_{pect\ seca} * C_p * (T_{secado} - T_{inic}) + m_{agua\ evap} * \lambda_{vap\ agua}$$

Se tiene que:

C27= 75,9246g de pectina seca= 0,0759kg

Cp= 0,3808kcal/kg*°K

Tinicial= 18°C= 291,15°K

Tde secado= 45°C= 318,15°K

m aguaevap= C28=556,7808g= 0,56kg de agua evaporada

λ a 45°C = 649,3kcal/kg

Se reemplazan todos los valores:

$$Q_{req} = 0,0759\text{kg} * 0,3808\text{kcal/kg} * ^\circ\text{K} * (318,15^\circ\text{K} - 291,15^\circ\text{K}) + 0,56\text{kg} * 649,3\text{kcal/kg}$$

$$Q_{req} = 362,30\text{kcal}$$

4.5. DETERMINACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN A ESCALA LABORATORIO

En la tabla que se presenta a continuación se detalla la cantidad de materia prima y reactivos utilizados en el proceso y sus costos respectivos:

Tabla IV-16. Costo de materia prima e insumos

MATERIA PRIMA / INSUMOS	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO POR INSUMO (BS)
Cáscara	1	kg	0
Ácido Cítrico	0,02157	kg	1,0
Etanol 96%	0,8376	litro	17,6
Hidróxido de Sodio 0,1N	0,5	litro	1,572
Ácido Clorhídrico 0,25N	0.5	litro	1.572
Sacarosa	0.5	kg	2.5
Agua destilada	4	litro	40
COSTO TOTAL EN BS.			61,74

Fuente: Elaboración propia 2022.

Cabe recalcar que la cáscara que se recolecta, proviene de las vendedoras ambulantes de jugos cítricos que se encuentran por la ciudad y quienes podrían generar una fuente de ingreso extra, a través de la venta de la cáscara, que de no ser el caso simplemente desechan esta materia prima.

Para la determinación de los costos energéticos se toma como dato referencial el costo del Kw/h dentro de la categoría industrial como 1,94Bs.

A continuación, se presenta una tabla de los costos energéticos que se generan durante la extracción de pectina

Tabla IV-17. Requerimiento energético para la extracción de pectina

REQUERIMIENTO ENERGÉTICO				
PROCESO	POTENCIA (kWh)	TIEMPO (h)	ENERGÍA (kW*h)	COSTO GLOBAL
INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA	3	0,1667	0,5	0,97
HIDRÓLISIS ACIDA	0,64	1,3333	0,8533	1,6555
FILTRACIÓN I	0,7457	0,25	0,1864	0,3617
FILTRACIÓN II	0,7457	0,25	0,1864	0,3617
SECADO	2	24	48	93,12
TAMIZADO	0,12	0,1667	0,02	0,0388
COSTO TOTAL EN BS.				96,5

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Además de los costos del proceso se toman en cuenta los gastos destinados a la investigación y desarrollo del proyecto

Tabla IV-18. Costos de investigación del proyecto

ACTIVIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (BS)	CANTIDAD	COSTO GLOBAL
Investigación	días	200	40	8000
Desarrollo del proceso	días	350	20	7000
Impresiones	hojas	0,5	300	150
Transporte	bs	1,5	50	75
COSTO TOTAL EN BS.				17225

Fuente; Elaboración propia 2022

Es importante tomar en cuenta el costo de los análisis de la materia prima y producto terminado para ofrecer un producto que cumpla con todos los requerimientos de calidad.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

1. Es posible obtener pectina cítrica de calidad similar a pectinas comerciales, a partir de residuos de cáscaras de naranja obtenidos de la elaboración de jugos de manera artesanal.
2. La hidrólisis ácida realizada con ácido cítrico vs. Ácido clorhídrico es una opción más económica y sustentable. Asimismo, para la precipitación del gel obtenido se emplea etanol al 96% que es más económico en lugar de sales de aluminio.
3. El acondicionamiento de las cáscaras de naranja recolectadas, debe ser realizado el mismo día de la recolección para poder obtener una materia prima en óptimas condiciones, de manera que se evite la degradación de la muestra.
4. El método empleado para la obtención de pectina cítrica del presente proyecto, es el método convencional por hidrólisis ácida con ácido cítrico, y la precipitación del gel con alcohol etílico al 96%, al ser una opción más económica y de fácil tratamiento.
5. Los parámetros óptimos para la obtención de pectina cítrica en polvo a partir de cáscaras de naranja son pH 1,5, tiempo 75 min, a una temperatura de 80°C, reportando un rendimiento del 17,32%.
6. La temperatura no presenta una influencia significativa en los rangos de entre 60°C y 80°C para la calidad y rendimiento de obtención de la pectina en el presente proyecto.
7. La materia prima obtenida de la recolección de cáscaras de naranja proveniente de la elaboración de jugos, consigue buenos rendimientos de obtención de pectina, 17,32% p/p, con relación a otros autores, como Zegada, V. quien obtiene 16,3% p/p mediante hidrólisis ácida asistida por horno microondas, o Rodríguez, K. quien obtiene entre 39,56% y 12,52% p/p mediante hidrólisis ácida por método convencional con HCl y comparando el rendimiento de dos variedades de naranjas citrus paradisi y citrus sinensis respectivamente.

8. La pectina cítrica obtenida en el presente proyecto, contiene 6,06% de metoxilación en promedio, lo cual indica que es una pectina de bajo metoxilo. Sin embargo, su porcentaje de esterificación es del 65,7% lo cual es comparable con pectinas de alto metoxilo, pues las pectinas de bajo metoxilo no poseen más del 26% de su cadena esterificada.

9. La cantidad de ácido anhídrido galacturónico que posee la pectina obtenida en el proyecto es del 56,12% comparable con el 65% que poseen las pectinas comerciales. Lo que refleja que durante el proceso es posible que puedan arrastrarse impurezas durante la hidrólisis, como desnaturalización o degradación de la pectina que se solubiliza o durante el precipitado con alcohol.

10. La pectina obtenida es de bajo metoxilo, sin embargo, su comportamiento tiende a ser el de una pectina comercial. Lo cual indica que es de buena calidad para su utilización en el área alimenticia, pues requiere que se trabaje en medios que requieren grandes cantidades de azúcar.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Química, utilizar la información generada en el presente proyecto para poder encarar de mejor manera los próximos trabajos que pudieran desarrollar en el área de obtención de pectinas.

Realizar investigaciones comparativas de distintos medios ácidos para la extracción de pectina y sus efectos sobre la calidad del producto obtenido

Establecer una tendencia sobre los tiempos de hidrólisis, considerando la teoría y operar con rangos más amplios de temperatura, con el fin de estudiar la desnaturalización y/o degradación de la pectina durante este proceso y su efecto directo en la calidad del producto.

Controlar la temperatura durante el proceso de secado del gel de pectina, además de la cantidad del gel que ingresa, para evitar que el producto se degrade.

Plantear alternativas de optimización del proceso y su efecto en la calidad y rendimiento de obtención del producto.

Evaluar la viabilidad técnica y económica del presente proyecto, con ayuda de la información proporcionada, pues Tarija es uno de los principales departamentos productores de naranja, de manera que se le pueda dar un uso integral, sustentable y redituable a esta materia prima.

Realizar investigaciones que promuevan el aprovechamiento de residuos y su posterior transformación en productos útiles en la industria, los cuales no sólo aporten una ventaja competitiva en el departamento y generen empleos, sino también ofrezcan soluciones a problemas ambientales mediante el aprovechamiento de los mismos.