

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En los últimos años, los productos bionaturales han cobrado importancia debido a sus innumerables beneficios para la salud. Uno de estos productos es la pectina, que es un bio polímero constituido principalmente por ácido galacturónico, gracias a sus propiedades gelificantes y de absorción se emplea en la industria de los alimentos, cosmética y farmacéutica. (Nizama k., 2015). [1]

La pectina se da a conocer por primera vez en 1790 en Francia cuando Louis Nicolas Vauquelin, un naturalista, farmacéutico y químico francés encontró una sustancia soluble en los zumos de fruta. (Pagan i Gilabert, J., 1996). [2]

Posteriormente en 1825 el químico francés Henri Braconnot continuó el trabajo de Vauquelin y encontró que "una sustancia ampliamente disponible de plantas vivas y ya observada en el pasado, tenía propiedades gelificantes cuando se le añadía ácido a su solución". La llamó "pectina ácida" del griego "peKtos" que significa sólido, coagulado; reflejando la capacidad de las pectinas para formar geles. (Camacho, M. et al., 2002). [3]

Desde 1848, se empiezan a conocer las diferentes sustancias pécticas, las cuales varían en solubilidad y extracción, siendo Fremy quien reportó por primera vez la existencia de un precursor péctico insoluble en agua, denominado posteriormente "protopectina" por Tschirch. (Suárez D. y Orozco D., 2014). [4]

A lo largo del siglo XIX, después de la caracterización inicial de la pectina, fue realizada una considerable investigación científica, con relación a su estructura molecular y sus propiedades biológicas y reológicas. (Camacho, M. et al., 2002).

La producción comercial de pectinas comienza en 1908 en Alemania, durante las primeras fases de la industrialización, los productores de frutas compraban como materia prima para extraer pectina de los residuos secos de la elaboración de jugos de manzana. Luego, entre 1920 y 1930, los principales productores europeos pusieron a punto un nuevo proceso para la extracción de pectina de la cáscara de cítricos, previo secado. (Devia, J., 2003). [5]

En los últimos años, la producción de pectina se fue reubicando fuera de Europa, en áreas geográficas dedicadas a la producción de cítricos, como México y Brasil. (Team S, 2015). [6]

En Bolivia no existe producción industrial de pectina, por lo que se recurre al mercado internacional para adquirir esta materia prima, la cual tiene un alto costo comercial a pesar de que a nivel industrial proviene de desechos o productos subvalorados como cáscara de frutas. (Muñoz, P. 2016). [7]

En cuanto a la materia prima, la cáscara de mandarina es conocida desde el origen de esta fruta proveniente de las zonas tropicales de Asia, se cree que su nombre se debe al color de los trajes que utilizaban los mandarines, se puede afirmar que es una fruta originaria de China. Su cultivo se introdujo en Europa en el siglo XIX. En la actualidad los principales productores son: China, España, México, Brasil, Argentina, Venezuela, Colombia, Marruecos, Israel, Japón, Uruguay, Paraguay, Bolivia, Perú y Ecuador. (Penelo, L. 2018). [8]

En todo el mundo se producen 33 263.848 toneladas de mandarina por año. (Ancilla, B. 2021). [9]

Lo que genera una gran cantidad de cáscara aproximadamente 9 979.154 toneladas por año, convirtiéndose en residuos que contaminan al medio ambiente.

En los últimos años se hicieron varias investigaciones para reutilizar esta cáscara de mandarina:

(Arguelles, 2022) realizó la investigación de “**Elaboración de pectinas a partir de cáscara de mandarina**” en el Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, nos indicó que al utilizar ácido cítrico baja la calidad de la pectina obtenida.

Se realizaron investigaciones a nivel local, nacional e internacional sobre la obtención y estudios de pectina:

(Baltazar R. et al, 2013) realizó la investigación de “**Optimización de las condiciones de extracción de pectina a partir de cáscara de limón francés (Citrus medica)**”

utilizando la metodología de superficie de respuesta” en la Universidad Nacional de Trujillo, nos indicó el proceso de extracción de pectina.

(Urango. et al, 2018) realizó la investigación de **“Extracción de pectina a partir de cascara de maracuyá”** en la Universidad Nacional de Córdoba, que nos proporcionó información para la extracción de pectina mediante el uso de microondas.

(Muñoz, 2016) realizó la investigación de **“Obtención de pectina a partir de cáscara de plátano”** en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de Bolivia, concluyo que, durante la elaboración del presente trabajo de investigación, las variables estudiadas en el proceso de obtención de pectina a partir de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) son pH, tiempo de hidrólisis y temperatura.

(Benítez, 2022) realizó la investigación de **“Extracción experimental de pectina de cáscara de limón (citrus limon burmann) cultivado en la provincia Gran Chaco, Tarija”** en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de Bolivia, este proyecto nos indicó los equipos y reactivos que se utilizó en el proceso para la extracción de pectina.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Obtener pectina a partir de cáscara de mandarina a escala laboratorio.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la materia prima.
- Ejecutar la fase experimental, para la obtención de pectina.
- Determinar el rendimiento del proceso productivo para obtener pectina a escala de laboratorio.
- Caracterizar el producto terminado a través de análisis fisicoquímicos.
- Determinar el costo del proyecto de investigación.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El proyecto se justifica en lo siguiente:

Teniendo en cuenta la alta demanda de pectina requerida para diversos productos alimenticios y demás aplicaciones, surge la necesidad de desarrollar un proceso experimental a escala de laboratorio, para aprovechar la cáscara de mandarina como materia prima para la obtención de pectina, dando a este residuo los parámetros adecuados para constituirse como materia apta para la producción de pectina y accediendo a la posibilidad de una nueva fuente de movimiento económico en el país.

La tecnología utilizada para la obtención de pectina, consiste en un proceso de hidrólisis ácida, filtración, precipitación, centrifugación, secado y pulverizado, los cuales son accesibles y fáciles de implementar. Con este proceso experimental propuesto, se pretende obtener una pectina de calidad apropiada y un rendimiento aceptable aportando así una nueva alternativa de materia prima para la industria.

Además, es importante aprovechar los residuos sólidos orgánicos generados por nosotros mismos al momento de consumir la fruta de mandarina ya que la cáscara de la misma genera gran cantidad de residuos, estos residuos se reutilizan para composta (abono orgánico) pero en pequeñas porciones ya que al ser residuos cítricos su acidez es muy alta para usarla como abono de huerta o de plantas.

En Bolivia todavía no existe producción industrial de pectina, por lo que se ve en la obligación de importar este producto de diferentes países como México, Suiza, Dinamarca, Brasil, el cual tiene un alto costo comercial a pesar de que a nivel industrial proviene de desechos o productos subvalorados como cáscara de frutas.

La pectina es una sustancia altamente utilizada principalmente en la industria alimentaria, por tener propiedades gelatinizantes, espesantes y estabilizante; necesarias en la elaboración de un gran número de productos a base de fruta. También es utilizada para mejorar la consistencia y la estabilidad de las pulpas en bebidas a base a jugos y actúa como estabilizante de las proteínas en ambiente ácido y tiene aplicaciones en el sector farmacéutico y cosmético.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. LA MANDARINA:

La mandarina es una de las frutas más populares del mundo, es el cítrico más parecido a la naranja, pero más pequeña y achatada por su base, de sabor más dulce aromático y resulta más fácil de pelar. Por lo que resulta una fruta de lo más conveniente para toda la familia, pero además presenta un valor nutricional alto, son ricas en carbohidratos, vitaminas y minerales. (Penelo L, 2018).

Por mandarina se conoce al fruto de al menos dos especies, la *Citrus reticulata* y *Citrus unshiu* que corresponde al grupo de las mandarinas Satsumas. (Penelo L, 2018).

2.1.1. Taxonomía:

Cuadro II 1 Taxonomía de la mandarina

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Sapindales
Familia	Rutaceae
Género	Citrus
Especie	C. unshiu

Fuente: Wikipedia. 2021.

2.1.2. Morfología:

2.1.2.1. Planta de mandarina:

El árbol se conoce comúnmente como mandarino y sus frutos como mandarina. Su nombre científico es *Citrus reticulata* y pertenece a la familia Rutaceae. Proviene de las zonas tropicales de Asia y se cree que su nombre se debe al color de los trajes que usaban los mandarines que gobernaban la antigua China. (Media I, 2022). [10]

Es un árbol de características parecidas al naranjo. Puede alcanzar una altura hasta de 8 metros y es más redondeado, con una gran ramificación desde la base. (Media I, 2022).

Figura II 1 Planta de Mandarina



Fuente: Flor de planta. 2011.

2.1.2.2. Hojas de mandarina:

Las hojas del mandarino son oblongo-ovales, elípticas o lanceoladas, de 3,5-8 cm de longitud y 1,5-4 cm de anchura, con la base y el ápice agudo. Son de color verde oscuro brillante en el haz y verde amarillento en el envés, fragantes cuando se las tritura. Pecíolos con ala muy corta. (Productor E, 2017). [11]

Figura II 2 Hojas del árbol de mandarina



Fuente: Marilyn Peralta. 2018.

2.1.2.3. Raíz de mandarina:

La raíz es blanca, compacta y con gran cantidad de pelos. El tallo es de consistencia leñosa, color gris oscuro con espinas. Sus ramas son delgadas. (Productor E, 2017).

2.1.2.4. Flores de mandarina:

Las Inflorescencias axilares o terminales tienen 1-4 flores pentámeras, de color blanco, olorosas, de 1,5-2,5 cm de diámetro. 18-23 estambres, casi libres. (Productor E, 2017).

Figura II 3 Flores del árbol de Mandarina



Fuente: Marilyn Peralta. 2018.

2.1.2.5. Fruto de mandarina:

Los frutos de mandarina son de 4-7 cm de longitud y 5-8 cm de diámetro, globoso-deprimidos. Tiene forma achatada, la piel es brillante y cambia de color verde a distintos tonos de color naranja amarillo cuando madura. (Productor E, 2017).

Esta piel se separa fácilmente de los gajos, que son entre 8 y 10 y se separan con facilidad. Las semillas son pequeñas, puntiagudas en un extremo y verdes por dentro.

La cáscara es delgada, muy fragante, separándose fácilmente de la pulpa. Pulpa jugosa y dulce, refrescante. (Productor E, 2017).

Figura II 4 Fruto de la Mandarina



Fuente: Flores ninja. 2018.

En el fruto se distinguen el epicarpio o flavedo, mesocarpio o albedo y el endocarpio

Flavedo:

Los pigmentos y aceites esenciales son las sustancias más importantes de los contenidos en el flavedo. (Guevara O, 2016). [12]

Albedo:

En estado fresco, el albedo contiene 75 a 80% de agua. En la madurez, la materia seca del mismo fruto está compuesta por: 44% de azúcares (glucosa, fructosa, sacarosa), 33% de celulosa y 20% de sustancias pépticas, que tienen la particularidad de absorber agua. Además, contiene glucósidos y ácido ascórbico en cantidad apreciable. (Guevara O, 2016).

Endocarpio:

El endocarpio es la parte interior del fruto, genéricamente llamada pulpa comestible, consistente en segmentos (carpelos o gajos) distribuidos alrededor del corazón o eje central formado por un tejido similar al del albedo. (Guevara O, 2016).

Tabla II 1 Composición de la mandarina

Mandarina	Porcentaje (%)	Sólidos totales (%)
Fruto entero	100	12
Flavedo	10	16 – 17
Albedo	20 – 40	15 – 20
Jugo	30 – 35	6 – 11
Tejidos y pulpa	25 – 30	10 – 12
Semillas	0,5 – 1,5	30 – 40

Fuente: Sánchez, 2012.

2.1.3. Variedades de mandarinas:

Las diferentes variedades de mandarinas se agrupan en tres tipos: clementinas, satsumas e híbridos de mandarino.

2.1.3.1. Clementinas:

Estas mandarinas son el fruto del mandarino común, su color naranja es intenso, de forma esférica aplanada, su corteza es fina y lo común es que carezcan de semillas. (Azar C, 2018). [13]

Las clementinas son muy reconocibles tanto por su buen sabor como por la facilidad con la que se puede retirar su piel. Algunas de las variedades que se incluyen en el grupo de las Clementinas son: Clementina Fina, Oroval, Clemenules, Oronules, Esbal, Arrufatina, Clemenrubi, etc. (Azar C, 2018).

2.1.3.2. Satsuma:

Es originaria de Japón y presenta un exquisito aroma. Las frutas son de color amarillo naranja o naranja rojizo, de buen tamaño, forma achatada y con propensión a hincharse cuando la corteza inicia el cambio de color. (Azar C, 2018).

La calidad interna es sumamente alta y los gajos son muy jugosos y tiernos con un delicado sabor dulce. La corteza es gruesa y rugosa, su recolección puede comenzar a mediados de septiembre. (Azar C, 2018).

Las mandarinas Satsuma son aptas para procesamiento para obtener jugo y, al no tener semillas, los gajos son especialmente apropiados para el enlatado en almíbar o jugo natural. (Azar C, 2018).

2.1.3.3. Híbridos:

Son frutos de buen tamaño y color naranja rojizo muy atractivo. La pulpa posee gran cantidad de zumo y es abundante en azúcares y ácidos orgánicos. La corteza es rugosa está muy adherida a la pulpa y dificulta su pelado. (Azar C, 2018).

Estas clases de mandarinas, tienen su origen en una mutación o cruce con otros cítricos, que ha hecho que aparezcan nuevos tipos de mandarina. (Azar C, 2018).

2.1.3.4. Murcot:

Es un fruto de tamaño mediano a pequeño, consistente y firme. Su corteza es lisa y brillante, pegada a los gajos por lo que no es fácil de pelar. La pulpa presenta un buen porcentaje de azúcar y niveles medios de acidez con un sabor y olor muy particular, presenta algunas semillas. (Peralta M, 2018). [14]

2.1.3.5. Malvácea:

El fruto es de tamaño pequeño, de color amarillo a naranja y son agridulces. Esta variedad es considerada una de la más altas en contenido de vitamina C y fibras, la corteza es de suave textura, el contenido mínimo de jugo de la mandarina corresponde al 35% del peso total de la fruta, se caracteriza en llevar entre 3 a 6 semillas por fruta. (Peralta M, 2018).

2.1.3.6. Ponkan:

Llamada también como mandarina miel. Esta fruta tiene una forma plana y achatada, su color es naranja en su madurez, que culmina en diciembre hasta enero. Su corteza es eliminada fácilmente desde la pulpa de la fruta, cada fruta tiene 9 a 12 segmentos de fruto, presenta un aroma suave cuando es retirada la corteza. (Peralta M, 2018).

2.1.3.7. Criolla:

Es una variedad que se caracteriza por contener un exquisito sabor y aroma, es una fruta cítrica fácilmente cultivable en parcelas pequeñas y en su mayoría la destinan para uso propio. (Peralta M, 2018).

2.1.4. Variedad de mandarina en el departamento de Tarija:

Las variedades de mandarinas que se producen en el departamento son diversas y entre las que se destacan tenemos las siguientes:

Cuadro II 2 Mandarinas producidas en el departamento de Tarija

Cultivo	Variedades
Mandarina	Criolla
	Ponkan
	Malvácea
	Satsuma
	Murcot

Fuente: SEDAG. 2015.

La variedad de mandarina que mayormente es consumida en los diferentes mercados de la ciudad de Tarija, es la criolla ocupando el primer lugar seguida por la variedad Ponkan y la Satsuma.

2.1.5. Valor nutricional de la mandarina:

La mandarina está formada en un 85% de agua, contiene poco azúcar y, por lo tanto, pocas calorías, unas 35 por 100 g (dos mandarinas). Aporta dosis considerables de vitamina C, aunque en menor cantidad que otras frutas, y más pro vitamina A que la mayoría de los cítricos. Posee cantidades significativas de vitaminas del grupo B, potasio, magnesio y una gran riqueza de ácidos cítrico y oxálico. (Penelo E, 2018).

2.1.6. Producción de la mandarina:

En todo el mundo se producen 33 263.848 toneladas de mandarina por año. China es el mayor productor de mandarina del mundo con un volumen de producción de 23 120.133 toneladas por año. (Ancilla B, 2021).

España ocupa el segundo lugar con 3 424.971 toneladas de producción anual.

Tabla II 2 Producción mundial de mandarina (2017 - 2021)

Año	Producción (Tn)
2017	30 295.325
2018	32 185.164
2019	31 878.238
2020	32 064.251
2021	33 263.848

Fuente: Estadista. 2021.

La mandarina y la naranja son los principales cítricos a nivel nacional, durante el año agrícola 2015-2016 se produjeron 215.712 toneladas métricas de mandarina y 185.093 toneladas métricas de naranja. (INE, 2022). [15]

Tabla II 3 Producción nacional de mandarina (2017 - 2021)

Año	Producción (Tn)
2017	216.782
2018	235.095
2019	239.995
2020	237.812
2021	228.833

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2022.

La naranja registra mayor producción en la macro región Yungas y Chapare con 108.471 toneladas métricas, mientras que en la macro región Chiquitanía y Pantanal, la mandarina predomina con 34.549 toneladas métricas. (INE, 2022).

Tabla II 4 Producción de mandarina en el departamento de Tarija (2011 - 2021)

Año	Producción (Tn)
2017	3.276
2018	3.659
2019	3.874
2020	3.476
2021	3.410

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2022.

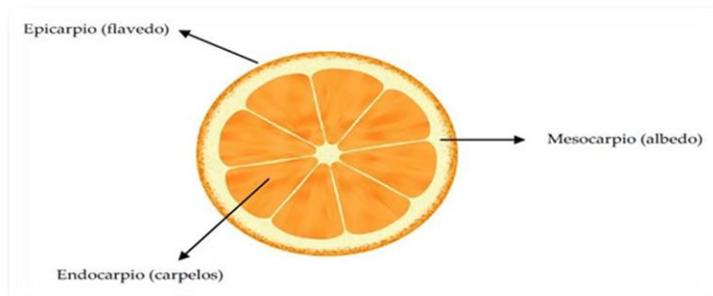
Los datos de esta institución, en detalle muestran que la producción del año agrícola 2015-2016 fue de 365 toneladas métricas de lima, 1.538 de limón, 3.127 de mandarina, 5.141 de naranja y 332 de pomelo. (INE, 2022).

La mandarina es una de las numerosas frutas del género Citrus, siendo la región sur del departamento de Tarija (Gran Chaco, O'Connor y Arce) la principal productora.

2.2. CÁSCARA DE MANDARINA:

La cáscara es la capa protectora de una fruta o vegetal, del cual puede desprenderse. Una fruta con una cáscara gruesa, como en los cítricos, se llama hesperidio. En el hesperidio, la capa interna (llamada también albedo o, coloquialmente "lo blanco de la mandarina") se desprende junto con la capa externa (llamada flavedo), y ambas capas se llaman cáscara, en conjunto. Tanto el flavedo como el albedo son, respectivamente, el epicarpio y el mesocarpio. La capa de jugo que se encuentra dentro de la cáscara (y que contiene las semillas) es el endocarpio. (Arguelles, 2022). [16]

Figura II 5 Sección transversal de la mandarina



Fuente: Dreamstime

La parte de la cáscara de mandarina de interés dentro de la investigación es el albedo ya que contiene aproximadamente 30% de pectina. (Arguelles, 2022)

Cuando los frutos cítricos aún están verdes, la mayor parte de las sustancias pécticas se encuentran en el albedo como protopectina insoluble, a medida que la maduración del fruto sigue adelante los tejidos se reblandecen y pierden cohesión. La protopectina se va convirtiendo en pectina soluble, es decir, hay una disminución de protopectina y un aumento de pectina soluble en agua. Cuando el fruto está completamente maduro, aproximadamente 2/3 partes de las sustancias pécticas están en forma soluble; es la transformación o hidrólisis de la protopectina, que se forma en los tejidos de las plantas durante la maduración. (Arguelles, 2022).

2.2.1. Valor nutricional de cáscara de mandarina:

Contiene abundantes cantidades de beta-criptoxantina y beta-caroteno, dos fitoquímicos con gran poder antioxidante que ayudan a combatir el efecto negativo de los radicales libres, refuerzan el sistema inmunológico y protegen el organismo frente a la aparición de enfermedades cardiovasculares, degenerativas y determinados tipos de cáncer. (Peralta M, 2018).

Vale la pena destacar, más detalladamente, su aporte de vitamina C y de pectinas, ya que en diversos estudios se ha observado que dosis elevadas de estas dos sustancias, ayudan a eliminar del torrente sanguíneo algunos metales pesados como el plomo o el mercurio que se acumulan en el organismo. (Peralta M, 2018).

Tabla II 5 Composición nutricional de la cáscara de mandarina

Valor Nutricional por cada 100 gr	
Energía 53 kcal-220 kJ	
Carbohidratos-13,34 gr	
Azúcares	10,58 gr
Fibra Alimentaria	1,18 gr
Grasas-0.31 gr	
Saturadas	0,039 gr
Trans	0,000 gr
Mono insaturados	0,060 gr
Poliinsaturados	0,065 gr
Proteínas-0,81 gr	
Retinol (vitamina A)	34 µg
Tiamina (vitamina B1)	0,058 mg
Riboflavina (vitamina B2)	0,036 mg
Niacina (vitamina B3)	0,376 mg
Vitamina B6	0,078 mg
Ácido Fólico (vitamina B9)	16 µg
Vitamina B12	0,0 µg
Vitamina C	26,7 mg
Vitamina D	0,0 µg
Vitamina E	0,2 mg

Vitamina K	0,0 µg
Calcio	37,0 mg
Hierro	0,15 mg
Magnesio	12,0 mg
Fósforo	20,0 mg
Potasio	166,0 mg
Sodio	2,0 mg
Zinc	0,07 mg
Agua-85,17 gr	

Fuente: Mandarina Comercial/Base de datos de nutrientes de USDA, 2012.

2.2.2. Beneficios de cáscara de mandarina:

- Ayuda a controlar el peso corporal ya que ayuda a mantener la saciedad del apetito. (Penelo L, 2018).
- La cáscara de mandarina es popular por ayudar a equilibrar los niveles de azúcar en la sangre.
- Alivia los síntomas del estrés gracias a que reduce la producción de cortisol.
- Promueve un flujo sanguíneo sano, además la cáscara de mandarina es rica en potasio, una sustancia que ayuda a reducir la presión arterial.
- Contribuye a prevenir el aumento de células cancerígenas.
- Previene la degeneración macular, ayudando a proteger la vista.
- Mantiene los tendones, ligamentos, huesos y arterias bien unidos gracias a que actúa como sintetizador de colágeno.
- Ayuda a hidratar el organismo.
- Sus sales minerales colaboran en el tratamiento de anemia. (Penelo L, 2018).

2.2.3. Producción de la cáscara de mandarina:

De acuerdo a datos estadísticos de la producción de la Mandarina se obtienen datos aproximados:

Tabla II 5 Producción mundial de cáscara de mandarina (2017 - 2021)

Año	Producción (Tn)
2017	9 088.597
2018	9 655.549
2019	9 563.471
2020	9 619.275
2021	9 979.154

Fuente: Estadista. 2021.

Tabla II 6 Producción Nacional de cáscara de mandarina (2017 - 2021)

Año	Producción (Tn)
2017	65.035
2018	70.528
2019	71.997
2020	71.344
2021	68.650

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2022.

Tabla II 7 Producción de cáscara de mandarina en el departamento de Tarija (2011 - 2021)

Año	Producción (Tn)
2017	983
2018	1.098
2019	1.162
2020	1.043
2021	1.023

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2022.

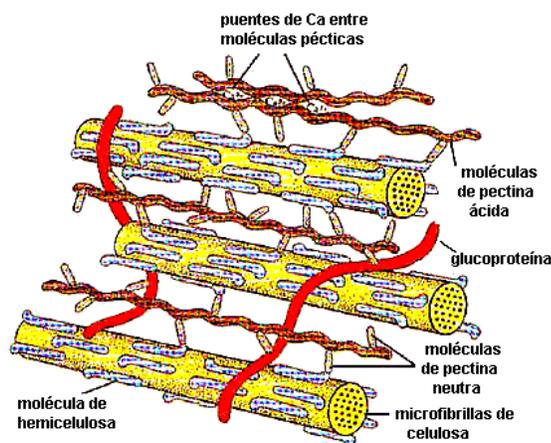
Grandes cantidades de cáscara de mandarina no aprovechadas pasan a ser solo residuos que contaminan el medio ambiente, sin embargo, al utilizarla como materia prima para la obtención de pectina se le dará un valor agregado.

2.3. PECTINA:

La pectina es una sustancia neutra, no cristalizable, incolora y soluble en el agua que existe en los frutos maduros, como resultado de la transformación de la pectosa. Tiene propiedades gelatinizantes, espesantes y estabilizantes. (Badui, S., 2006). [17]

Las sustancias pécticas se encuentran en la mayor parte de los tejidos vegetales y muy especialmente en los tejidos parenquimáticos y meristemáticos. En ellos, las zonas más ricas corresponden a la pared primaria de las células y a la lámina media que las separa. (Cabarcas E et al, 2012). [18]

Figura II 6 Estructura de la pared celular de los tejidos vegetales



Fuente: Sustancias Pécicas. 2013.

La pectina es un hidrato de carbono (polímero), que tiene un peso molecular alto y está presente en todas las plantas, principalmente en forma de protopectina. (Cabarcas E et al, 2012).

Tabla II 8 Porcentaje de Pectina en Frutos

Fruto	Materia fresca%
Cítricos	3-4%
Manzana	3%
Girasol	1%
Remolacha	1%
Plátano	1,15%

Fuente: Muñoz P. 2016.

Fruto	Materia seca%
Cítricos	20-35
Manzana	10-15
Girasol	15-25
Remolacha	10-20
Maracuyá	15-20

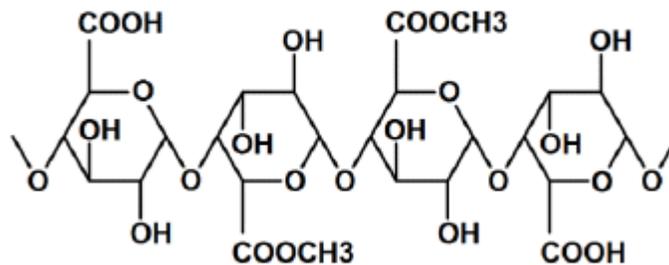
Fuente: Rojas et al. 2008.

2.3.1. Estructura química de las Pectinas

La estructura básica de la pectina está formada por anillos de ácido D-galacturónico, $C_6H_{10}O_7$. El número de anillos presentes en la cadena, varía desde los 100 hasta 1000. Cada anillo posee un grupo carboxilo (-COOH) que puede estar esterificado con

metanol, produciendo ésteres metílicos (-COOCH₃) o quedar neutralizado por una base, como se muestra en la figura 7. (Chasquibal S et al,2018). [19]

Figura II 7 Estructura de la Pectina



Fuente: Zegada. 2015.

El ácido galacturónico de la pectina, viene acompañado, también, de azúcares neutros, como la D-galactosa, L-arabinosa y L-ranamosa. (Chasquibal S et al,2018).

2.3.2. Clasificación de las sustancias pécticas:

Se pueden distinguir dos clases principales de sustancias pécticas: los ácidos pectínicos entre los que se encuentra la pectina, que solo tienen una porción de sus ácidos galacturónicos como ésteres metílicos, y los ácidos pécticos, que solo contienen moléculas de ácido galacturónico libre de esterificación. (Suárez D. y Orozco D., 2014).

2.3.2.1. Protopectina:

La protopectina es la sustancia péctica insoluble en agua, se encuentra en los tejidos inmaduros de los frutos y le da la textura rígida. Sin embargo, por medio de una hidrólisis controlada hace que se convierta en pectina soluble o ácido pectínico, en un proceso que ocurre durante la maduración y que trae consigo el ablandamiento del fruto. (Cabarcas E et al, 2012).

2.3.2.2. Ácidos pectínicos:

Son los ácidos galacturónicos coloidales que contienen una apreciable proporción de grupos metoxilo. Estos ácidos bajo condiciones adecuadas, son capaces de formar geles

con azúcar y ácido, o si presentan un bajo contenido en metoxilo, con determinados iones metálicos. Las sales de los ácidos pectínicos se denominan pectinatos. (Suárez D. y Orozco D., 2014).

2.3.2.3. Pectina:

La pectina es un producto purificado de carbohidratos, libre de celulosa soluble en agua que consiste en residuos de ácido galacturónico metoxilados. La pectina es una sustancia obtenida como resultado de la primera etapa de la descomposición natural de la protopectina. En las frutas maduras, la mayor parte de las sustancias pécticas ya están en forma de pectina. (Acevedo, V. Y Ramírez, D., 2011). [20]

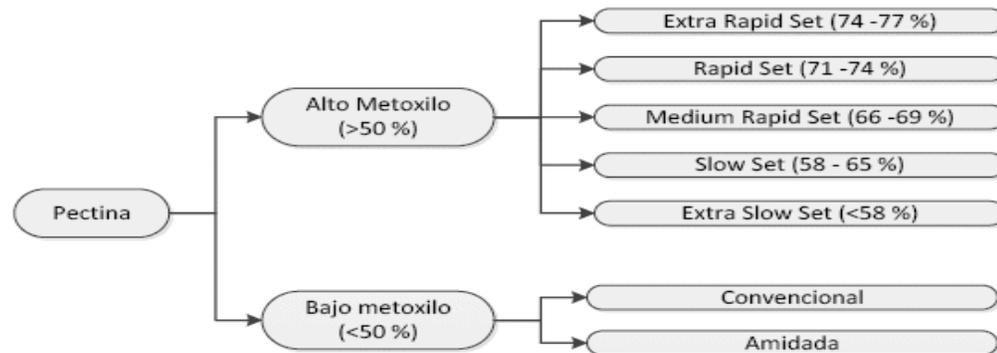
Constituye aproximadamente el 30% del peso seco de la pared celular primaria de células vegetales. De las sustancias pécticas, la pectina es la más abundante e importante, son los ácidos pectínicos que contienen los grupos carboxílicos del ácido poligalacturónico parcialmente esterificados con metanol y son capaces de formar geles en condiciones apropiadas. (Badui, S., 2006).

2.3.2.4. Ácidos pécticos:

Son aquellas sustancias pécticas constituidas principalmente por ácidos galacturónicos libres de grupos metoxilo. Las sales de estos ácidos se denominan pectatos y reaccionan fácilmente con los iones de calcio y de las células para producir compuestos insolubles en los jugos de frutas. (Suárez D. y Orozco D., 2014).

2.3.3. Clasificación de la Pectina:

Figura II 8 Clasificación



Fuente: scielo.org.bo. 2015.

2.3.3.1. Pectinas de alto metoxilo (HM):

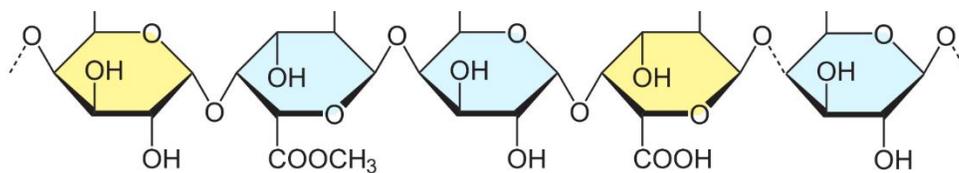
Son aquellas pectinas en las cuales más del 50% de los grupos carboxilo del ácido galacturónico del polímero se encuentra esterificado con metanol. (Cabarcas, E. et al., 2012).

El elevado grado de esterificación de la pectina de alto metoxilo influye mucho sobre sus propiedades y mientras mayor sea la proporción de grupos carboxilo esterificados, mayor es la temperatura de gelificación. Esta pectina forma geles en condiciones de pH entre 2,8 y 3,5 y un contenido de sólidos solubles (azúcar) entre 60 y 70%. (Cabarcas, E. et al., 2012).

A su vez, las pectinas de alto metoxilo se subdividen en dos grupos:

- ➔ De gelificación rápida (Rapidset), ésta gelifica en un tiempo menor a 5 minutos y tienen un grado de esterificación entre el 68 y el 75%. (Cabarcas, E. et al., 2012).
- ➔ De gelificación lenta (Slowset), gelifica después de 5 minutos, su grado de esterificación se encuentra entre el 60 y 68%. (Cabarcas, E. et al., 2012).

Figura II 9 Pectinas con alto grado de metoxilo



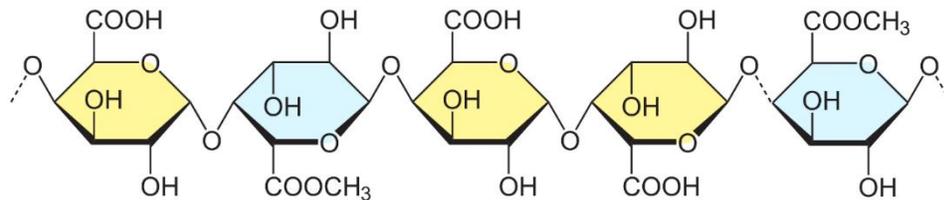
Fuente: Silvateam. 2022.

2.3.3.2. Pectinas de bajo metoxilo (LM):

Son aquellas en las cuales menos del 50% de los grupos hidroxilo están esterificadas con metanol. Para la formación del gel requieren la presencia de cationes divalentes, y por lo general, se emplea calcio. En este caso, la formación del gel ocurre por la formación de enlaces de dichos cationes con moléculas de pectina adyacentes formando una red tridimensional con los grupos carboxilo de la pectina (Cabarcas, E. et al., 2012).

Las pectinas de bajo metoxilo (LM) forman geles termorreversibles por interacción con el calcio presente en el medio; el pH y la concentración de sólidos son factores secundarios que influyen en la velocidad y la temperatura de gelificación y además en la textura final del gel. (Cabarcas, E. et al., 2012).

Figura II 10 Pectinas con bajo grado de metoxilo



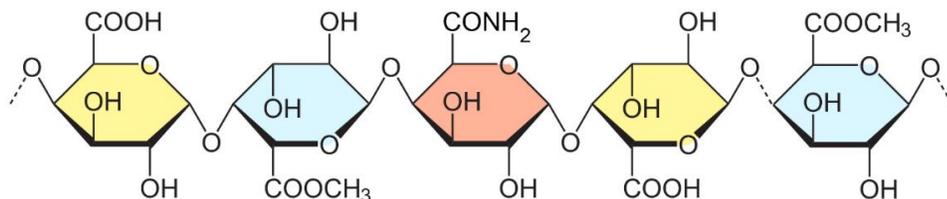
Fuente: Silvateam. 2022

2.3.3.3. Pectina de bajo metoxilo amidadas (LMA)

Es de bajo contenido de metoxilo, se obtiene a partir de pectinas de alto metoxilo mediante la desesterificación alcalina en presencia de amoníaco, por tanto, sus grupos metoxilo son sustituidos por una amida. (Suárez D. y Orozco D., 2014).

Esta clase de pectina de bajo metoxilo se caracteriza en no requerir la adición de calcio para gelificar, y es suficiente con el calcio presente en los frutos, además de que forma geles termorreversibles. (Suárez D. y Orozco D., 2014).

Figura II 11 Pectinas de bajo metoxilo amidadas



Fuente: Silvateam. 2022

2.3.4. Propiedades Fisicoquímicas de las Pectinas

2.3.4.1. Solubilidad:

El agua es el mejor solvente para la pectina, 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 son empleados para precipitar la pectina de las soluciones luego de un proceso de hidrólisis por tratamiento de la materia prima. (Cabarcas, E. et al., 2012).

2.3.4.2. Grado de gelificación:

Se define como los gramos de azúcar necesarios para formar un gel de firmeza estándar con un gramo de pectina, bajo condiciones controladas de acidez y sólidos solubles. (Acevedo, V. y Ramírez, D., 2011).

Los gramos de azúcar necesarios para formar gel, se expresan como grados SAG. La pectina es el agente formador de gel, mientras que los sólidos (azúcar) y el ácido son los agentes modificadores que logran la transformación física de esta, convierten el jarabe en gel. La pectina comercial de buena calidad tiene grados de gelificación entre los 130 y 150° SAG. (Acevedo, V. y Ramírez, D., 2011).

2.3.4.2.1. Mecanismo de gelificación de la pectina:

Cuando la pectina entra en solución acuosa, sus grupos carboxilo se disocian parcialmente para formar iones carboxilo con carga negativa ($R-COO^-$) provocando así el aumento de la carga negativa de las moléculas y la recíproca repulsión entre ellas, favoreciendo así, la disociación de la pectina. (Barraza G., 2013). [21]

La adición de azúcar y de ácido modifica completamente este cuadro:

- ➔ El azúcar desarrolla una acción deshidratante sobre la pectina y la lleva al límite de la solubilidad. (Barraza G., 2013).
- ➔ El ácido, liberando iones hidrógeno positivos, neutraliza la acción de los iones carboxilos negativos, reduce al mínimo el aumento de la carga eléctrica y la disociación de la pectina y favorece las uniones físicas de sus moléculas. (Barraza G., 2013).

De la acción mutua entre el azúcar y del ácido sobre la pectina en solución, a temperatura suficiente para facilitar la solubilización y las uniones físicas de los componentes, nace la típica estructura reticular que, al enfriarse solidifica en forma de gel. (Barraza G., 2013).

2.3.4.3. Acidez:

En su estado natural, las pectinas son neutras, en solución tienen carácter ácido, el cual depende del medio y de su grado de esterificación. El pH de las soluciones de pectina varía entre 2.5 y 4.4 en función al grado de esterificación. La pectina tiene una constante de disociación de 0,1 a 10×10^{-4} a $19^\circ C$. (Cabarcas, E. et al., 2012).

2.3.4.4. Viscosidad:

La viscosidad de las soluciones de pectina de HM es muy dependiente del número de variables: grado de esterificación, longitud de la molécula, concentración de electrolitos, pH y temperatura. Las concentraciones diferentes de un azúcar o azúcares afectan a la viscosidad de distinta forma. La viscosidad se incrementa marcadamente a medida que la temperatura se acerca a la temperatura de ebullición. 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. et al., 2012).

2.3.4.5. Contenido de metoxilos:

Se entiende por contenido de metoxilos a los grupos carboxilos de una cadena de pectina y se encuentran parcialmente esterificados por radicales metoxilos (-O-CH₃).

Una pectina completamente metoxiladas alcanzaría un 16.32 % de grupo metoxilos, pero hasta hoy no se ha logrado aislar una de este tipo. La importancia de la metilación, radica en su relación con la propiedad más importante de formar geles, aunque existen discrepancias sobre cuán realmente importantes es su proporción dentro de la estructura de la pectina. (Nizama K, 2015).

2.3.4.6. Grado de esterificación:

Un factor importante que caracteriza a las cadenas de pectina es el grado de esterificación de los grupos carboxilo. Existe una amplia gama de grados de esterificación que va del 60% al 90%. El grado de esterificación tiene un papel muy importante en la firmeza y cohesión de los tejidos vegetales. (Nizama K, 2015).

El grado de esterificación dependerá del origen de la pectina y del método utilizado para su extracción. En tal sentido, los grupos carboxilos de los ácidos galacturónicos presentarán un grado variable de esterificación con metanol y a su vez pueden estar parcial o completamente neutralizados por iones de sodio, potasio o amonio. En algunas pectinas, los grupos hidroxilos pueden estar parcialmente acetilados. (Nizama K, 2015).

La reducción del grado de esterificación tiene como consecuencia el aumento de la cohesión en la pectina, que es particularmente evidente en los tejidos calentados. El efecto de fortalecimiento de los tejidos implica los fenómenos separados. (Nizama K, 2015).

2.3.4.7. Peso equivalente:

“Depende del grado de esterificación y puede ser definido como el número de gramos de ácido poligalacturónico puro por equivalente de grupos carboxilo libres”. (Nizama K, 2015).

2.3.4.8. Ácido galacturónico:

Define la pureza del precipitado y comprueba que el producto sea una pectina, puesto que este, es un polímero de ácido galacturónico. Si el contenido de ácido galacturónico ($C_6H_{10}O_7$) está por debajo de aprox. 70 % indica la presencia de ácido no urónico y si la pectina cítrica tiene más de 74 % de $C_6H_{10}O_7$ es considerado de alta pureza. (Nizama K, 2015).

2.3.4.9. pH:

Las trazas de ácido mineral que contaminan las pectinas (derivadas de tratamiento de extracción y purificación) pueden afectar la concentración de iones hidrógeno (H^+) en mayor magnitud de lo que afectaría la acidez titulable. La alta alcalinidad-baja acidez acompaña a un pH alto, mientras que a una baja alcalinidad-alta acidez lo hace con un pH bajo, la pectina de alto metoxilo formará geles a pH entre 2,5 y 4,4, con contenidos de azúcar entre el 55 % como mínimo y el 85 % como máximo. (Nizama K, 2015).

Un porcentaje alto de grupos ácido disociados respecto a no disociados hace la pectina más hidrofílica. Por lo tanto, la tendencia a gelificar aumenta considerablemente al bajar el pH. (Nizama K, 2015).

2.3.5. Propiedades sensoriales de la pectina:

La pectina presenta un color blanco amarillento y sin olor, además de presentar un gusto de aspecto mucilaginoso, así mismo su tamaño de partículas deberá estar comprendido entre la malla 60 y 80 ASTM. (Gomez, y otros, 2001). [22]

2.3.6. Propiedades microbiológicas de la pectina:

Debido a que la pectina es un polisacárido que se encuentra principalmente en medios ácidos, la cuenta de levaduras y hongos son muy relevantes para el usuario. (Gomez, y otros, 2001.)

Debe cumplir con los siguientes parámetros:

Cuadro II 3 Análisis microbiológico de la pectina

Cuenta total de placa (37 °C)	Menos de 500/g
Cuenta de hongos y levaduras (25 °C)	Menos de 10/g
Escherichia coli	Prueba negativa
Salmonella	Prueba negativa
Estafilococos	Prueba negativa

Fuente: Gomez, y otros, 2001

2.3.7. Aplicaciones de las pectinas:

Las pectinas son ampliamente usadas como ingredientes funcionales en la industria de los alimentos y como fuente de fibra dietética, debido a su habilidad para formar geles acuosos. Los geles de pectina son importantes para crear o modificar la textura de las mermeladas, jaleas, salsas, ketchup, mayonesas; en la industria láctea, para la fabricación de yogures frutados y productos lácteos bajos en grasa, en la industria de bebidas dietéticas para la preparación de refrescos, debido a su bajo contenido en carbohidratos, por sus propiedades estabilizantes y por incrementar la viscosidad. (Chasquibol N. et al., 2008).

El uso de pectinas en la industria farmacéutica está creciendo, aunque la cantidad utilizada es mucho menor que en las aplicaciones alimentarias. Las pectinas se usan en diversas preparaciones farmacéuticas tales como excipientes, estabilizadores, películas y agentes de unión. Debido a su habilidad para unirse a metales pesados permite la excreción de estos compuestos tóxicos. (Chasquibol N. et al., 2008).

Es empleada como ingrediente en preparaciones farmacéuticas como antidiarreicos, desintoxicantes y algunas drogas son encapsuladas con una película de pectina para proteger la mucosa gástrica y permitir que el componente activo se libere en la circulación de la sangre. (Chasquibol N. et al., 2008).

Las pectinas de alto metoxilo asociadas a otros principios activos, tienen una granutilización 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, permite que el componente activo se libere en la circulación de la sangre. Además, se añade una acción desintoxicante, debido al poder absorbente de la macromolécula péctica, que permite la inhibición de toxinas.

La pectina tiende a reducir la intolerancia a la glucosa en diabéticos, disminuye el nivel de colesterol en la sangre y de la fracción lipoproteica de baja densidad; asimismo, ayuda en la inhibición potencial del cáncer y su metástasis. (Chasquibol N. et al., 2008).

En la industria cosmética, se emplea la pectina para la fabricación de pastas dentales, cremas, desodorantes, lociones de baño, champú, aceites, etc. Para ello se aprovechan sus propiedades suavizantes y estabilizantes. (Chasquibol N. et al., 2008).

En la industria de plásticos, la pectina es útil en la fabricación de productos espumantes (agentes de clarificación y aglutinantes), también se utiliza como material absorbente de contaminantes de efluentes industriales líquidos, lo que demuestra el potencial y las aplicaciones futuras que se esperan de la pectina. (Chasquibol N. et al., 2008).

2.3.8. Caracterización de la Pectina:

Según el (Codex Alimentarius,192-1995) [23], la pectina está calificada como aditivo alimentario autorizado y seguro, que no presenta peligro alguno al ser consumida por los seres humanos.

Los aditivos alimentarios como la pectina son sustancias no consumidas de forma regular ni directa por las personas, no constituyen un componente esencial en la elaboración de alimentos y pueden o no presentar características nutricionales; su

adición en productos alimenticios se realiza para mejorar sus propiedades organolépticas (Norma Codex Stan 192-1995, pág.3). Anexo 1.

En los alimentos regulados por la presente norma podrán emplearse conservantes y espesantes de conformidad con el Cuadro III de la norma general para los aditivos alimentarios (Norma Codex Stan 192-1995, pág.510). Anexo 2.

De acuerdo al Código Europeo, se califica a la pectina como agente gelificante, espesante, emulsionante y estabilizante, cuya función es transformar la textura de los alimentos, siendo su característica más importante la formación de geles estables a diferentes condiciones. (Galeas, 2015). [24]

La caracterización de la pectina a extraer debe cumplir los parámetros del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA).

Tabla II 9 Caracterización de pectina estándar

Componente	Especificación (pectina estándar)	Unidad
Grado de esterificación	74,71 ± 3,32	%
pH	2,5 – 4,4	-
Humedad	8,51 ± 1,96	% masa
Cenizas	3,77 ± 3,39	% masa
Contenido de azúcar	55 – 85	% masa
Peso equivalente	1.775,46 ± 1.143,78	mg/meq
Ácido galacturónico	68,29 ± 13,39	%
Contenido de metoxilo	6,93 ± 3,22	%
Acidez libre	0,78 ± 0,46	meq/g
Hierro	9,50	mg/100 g
Calcio	1.034,42	mg/100 g
Bacteriológico	-	-
Cuenta de hongos y levaduras (25 °C)	Menos de 10/g	-
Recuento total en placa	Menos de 500/g	-
Escherichia coli	Prueba Negativa	-
Salmonella	Prueba negativa	-
Estafilococos	Prueba negativa	-

Fuente: Barreto, Púa, De Alba, & Pión, 2017 [25]

2.3.9. Fundamentos teóricos de los métodos de caracterización físico-química de la pectina

2.3.9.1. Peso equivalente:

El método descrito de valoración ácido-base para determinar el peso equivalente de la pectina relaciona los miligramos del componente ácido (pectina) y los miliequivalentes de NaOH gastados en la valoración (Suárez D. y Orozco D., 2014), tal como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$\text{Peso equivalente} = \frac{\text{mg pectina}}{\text{meq NaOH}}$$

2.3.9.2. Acidez libre:

La acidez libre relaciona los miliequivalentes de NaOH consumidos en el ensayo del peso equivalente (que representan los carboxilos libres presentes en el componente ácido) y el peso de la pectina en gramos (Suárez D. y Orozco D., 2014), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Acidez libre} = \frac{\text{meq NaOH}}{\text{g pectina}}$$

2.3.9.3. Porcentaje de metoxilo:

El porcentaje de metoxilo se determina partiendo de la solución que resulta de la valoración del peso equivalente, la que se coloca en un matraz con tapa esmerilada y se le adiciona 25 ml de NaOH 0,25 N y se agita fuertemente a temperatura ambiente, se deja en reposo unos 30 minutos, luego se le agrega 25 ml de HCl 0,25 N y se titula el exceso de HCl con NaOH 0,1 N. (Suárez D. y Orozco D., 2014).

El porcentaje de metilación, se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Metoxilo} = \frac{\text{meq B} * 31 * 100}{\text{mg pectina}}$$

Donde 31 es el peso molecular del metoxilo (CH_3O^-) expresado en mg/meq y meq B son los meq de NaOH gastados en la determinación del porcentaje de metoxilo.

2.3.9.4. Grado de esterificación:

El grado de esterificación relaciona los carboxilos de las moléculas de ácido D-galacturónico esterificados y los carboxilos totales de las moléculas de ácido D-galacturónico (Suárez D. y Orozco D., 2014), el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

Donde meq A son los miliequivalentes de NaOH gastados en la determinación de acidez libre y meq B son los miliequivalentes de NaOH gastados en la determinación del porcentaje de metoxilo. (Suárez D. y Orozco D., 2014).

$$\% \text{ Grado de esterificacion} = \frac{\text{meq } B}{(\text{meq } A + \text{meq } B)} * 100$$

2.3.9.5. Porcentaje de ácido galacturónico anhidro:

Su determinación se fundamenta en el método de valoración descrito para la determinación de acidez libre y porcentaje de metoxilo (Suárez D. y Orozco D., 2014), relacionándolas con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ AUA} = \frac{\text{meq } B * 31 * 100 \text{ mg pectina}}{176 * 100 * (\text{meq } A + \text{meq } B)}$$

Donde 176 es el peso molecular del ácido galacturónico anhidro (AUA) expresado en mg/meq. (Shaha R., 2013).

2.3.9.6. Grado de Gelificación:

Para esta prueba, se prepara una escala entre 0,4 y 1,4 g de pectina, esta se incluye a vasos de precipitación de 200 ml de capacidad, luego se lleva a ebullición hasta la disolución completa de la pectina, luego se agrega 100 g de sacarosa, se diluye completamente y se agrega agua hasta peso de 150 g. Finalmente, se adiciona ácido cítrico hasta obtener el pH adecuado (3,2 – 3,5), estos geles se dejan reposar por 24 horas y luego se procede a desmoldar evaluándose las características de cada uno de ellos en forma visual para calcular el grado de gelificación. (Suárez D. y Orozco D., 2014).

Se elige el gel que presenta las características más apropiadas y se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Grado de Gelificacion} = \frac{\text{g de sacarosa}}{\text{g pectina}}$$

2.4. Proceso de extracción de las pectinas:

El procedimiento general para la obtención de pectina a escala de laboratorio de diferentes materias primas no cambia, en su esencia es el mismo para todas, las etapas principales son: la inactivación de enzimas pécticas en las cáscaras, hidrólisis ácida y precipitación de la pectina. (Cabarcas, E. et al., 2012).

2.4.1. Inactivación de enzimas pécticas:

Las enzimas pécticas comprenden un grupo muy diverso de enzimas. Teniendo en cuenta la complejidad del sustrato, se espera una gran cantidad de tipos diferentes de enzimas. (Vasquez, Ruesga, D'addosio, Páez, & Marín, 2008). [26]

Las enzimas pécticas se pueden clasificar dependiendo del tipo de actividad que catalizan, en dos grupos: las desesterificantes (pectín esterases) y las despolimerizantes. Las primeras catalizan la hidrólisis de los ésteres metílicos del ácido poligalacturónico, liberando metanol al medio y convirtiendo las pectinas en ácidos pécticos.

Las segundas son un grupo más numeroso de enzimas capaces de desdoblar las cadenas de ácido poligalacturónico de diverso grado de esterificación en unidades de menor tamaño. (Vasquez, Ruesga, D'addosio, Páez, & Marín, 2008).

Para la extracción de pectina se inactivaron estas enzimas al calentar hasta su ebullición la materia prima: pectín esterases son responsables de la hidrólisis de grupos éster metílicos que inducen la formación de metanol y por ende pectinas de menor metoxilo que solo es sensible en presencia de calcio.

Así como, las poligalacturonasas que rompen los enlaces glucosídicos entre las moléculas poligalacturónicas, despolimerizando la cadena de ácido poligalacturónico,

por lo tanto, disminuyendo su peso molecular de la pectina. (Vasquez, Ruesga, D'addosio, Páez, & Marín, 2008).

2.4.2. Hidrólisis ácida:

Existen muchos procesos patentados para obtener pectinas; en cada uno de ellos, se obtienen productos de diferente calidad; así sus aplicaciones dependen mucho del método de obtención. Esto es entendible considerando la complejidad estructural y la variación natural de estos polisacáridos de las plantas, que dependen por ejemplo de la especie, condiciones de maduración y del tipo de almacenamiento. (Guidi A. & Arandia M., 2010). [27]

La extracción de pectinas por hidrólisis ácida se lleva a cabo a altas temperaturas, bajo pH. La presencia del ácido en medio acuoso a temperaturas elevadas ayuda a un rápido y brusco rompimiento de las paredes celulares de la corteza del fruto y la pectina se separa de los desechos de diferentes frutos mediante la acidificación. Comercialmente las pectinas se extraen a altas temperaturas al hidrolizar la protopectina usando ácidos tales como HCl, HNO₃, C₆H₈O₇ y H₂SO₄. (Benitez H, 2021). [28]

Los polisacáridos tienen la particularidad de hidrolizarse a compuestos más simples mediante una sustitución nucleofílica provocada por la adición de un ácido capaz de donar el protón necesario para favorecer la fragmentación la cadena de la molécula por la acción del agua. (Benitez H, 2021).

Posteriormente al pretratamiento se procede a agregar el ácido y cierta cantidad de agua para someter a calentamiento a reflujo constante, las condiciones experimentales se deben ajustar de acuerdo al material a tratar, pudiéndose modificar el tipo de ácido utilizado, las concentraciones de este en la solución, la temperatura de calentamiento y el tiempo al que se someterá. (Benitez H, 2021).

Según Muñoz P, 2016. Y Benitez H, 2021 las variables que tienen mayor influencia en esta etapa considerada la más importante del proceso de obtención de pectinas son las siguientes:

- **pH.** – Es considerada una variable importante debido a su efecto en el rendimiento del proceso, hay una clara tendencia a mayor pH menor porcentaje de pectina extraída.
- **Temperatura.** – El ácido sometido a altas temperaturas ayuda a solubilizar la pectina, sin embargo, una baja temperatura podría ser insuficiente para permitir la hidrólisis de la protopectina, obteniendo así un rendimiento menor de pectina.
- **Tiempo.** - En investigaciones preliminares fue una variable significativa para el rendimiento en la extracción de pectina, su variación de tiempo influyendo en mayor o menor rendimiento.

2.4.3. Precipitación:

La precipitación es un proceso de obtención de un sólido a partir de una disolución. Puede realizarse por una reacción química, por evaporación del disolvente, por enfriamiento repentino de una disolución caliente, o por cambio de polaridad del disolvente. El sólido así obtenido se denomina precipitado y puede englobar impurezas. En general, será necesario cristalizarlo y recristalizarlo. (Quesadae, 2017). [29]

La precipitación química es un proceso de tres pasos que consiste en: coagulación, floculación y sedimentación. (Quesadae, 2017).

2.4.3.1. Coagulación:

En esta etapa las fuerzas entre las partículas de los contaminantes se reducen o eliminan mediante la adición de productos químicos, lo que permite la interacción de partículas mediante el movimiento molecular y la agitación física. La mezcla rápida permite la dispersión en el agua residual del producto químico utilizado en el tratamiento y promueve el choque de partículas, lo que hace que las partículas se agrupen para formar otras de mayor tamaño, es decir, la coagulación.

Los productos químicos añadidos para promover dicha agregación se denominan coagulantes y tienen dos propósitos básicos: El primero es desestabilizar las partículas lo que permite la interacción, y el segundo es promover la agrupación de partículas reforzando así la floculación. (Quesadae, 2017).

2.4.3.2. Floculación:

Se produce después de un período de mezcla rápida ya que es necesario disminuir la velocidad de la mezcla para que se formen flóculos más grandes. (Si la velocidad de mezcla es alta, los flóculos continúan siendo destruidos por excesivo contacto físico). (Quesadae, 2017).

2.4.3.3. Sedimentación:

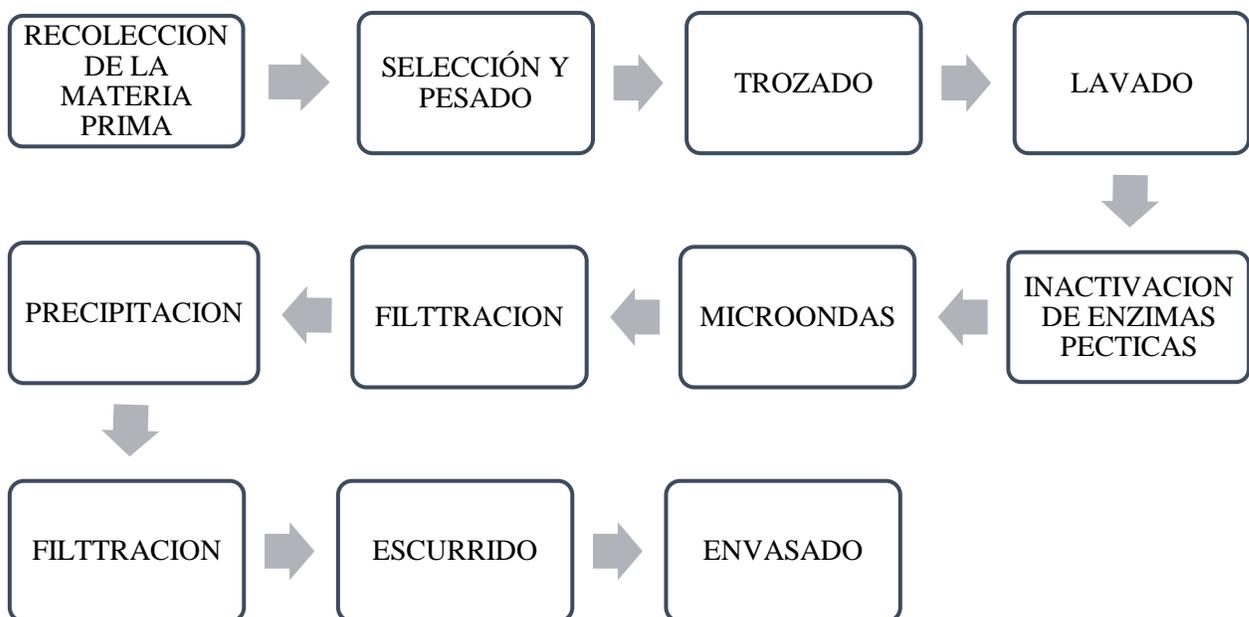
Debido al tamaño de las partículas sigue siendo necesario algo de mezcla para que exista contacto entre las masas de sólidos y promover así la formación de flóculos que se sedimentarán rápidamente. Durante la precipitación, los sólidos se separan del líquido normalmente por sedimentación, lo que debe resultar en dos capas claramente visibles: una sólida y una líquida, que pueden separarse fácilmente. (Quesadae, 2017).

2.4.4. Métodos de Extracción de Pectina a nivel laboratorio

2.4.4.1. Extracción por Hidrólisis Ácida Asistida por Microondas:

El método de extracción asistida por microondas se basa en el uso de la energía del mismo, para conseguir que los compuestos de interés pasen rápidamente de la muestra a un disolvente adecuado. Además, es una técnica que utiliza volúmenes pequeños de solvente y permite el control de una serie de parámetros que afectan a la eficacia de extracción. (Urango, Ortega, Vélez, & Pérez, 2018). [30]

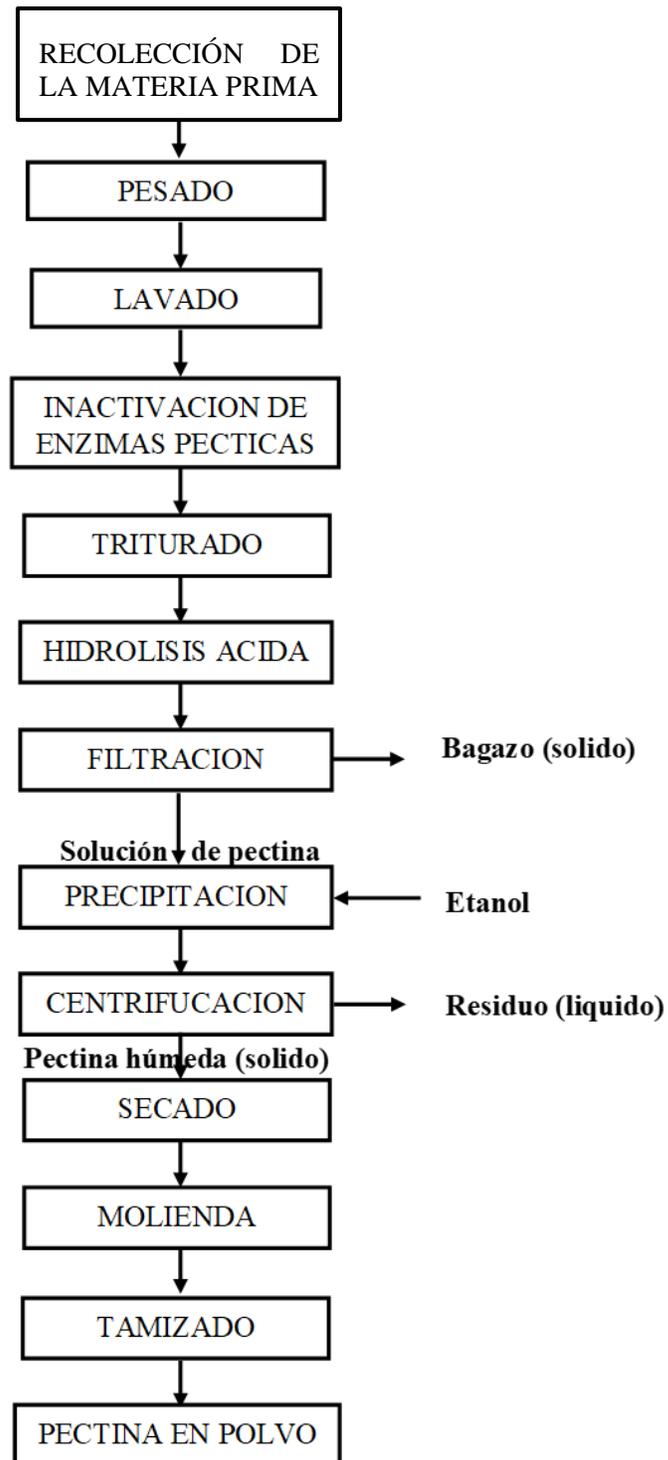
Diagrama II 1 Proceso de extracción por Hidrólisis Ácida asistida por Microondas



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

2.4.4.2. Extracción por Hidrólisis Ácida Convencional:

El método extracción por hidrólisis ácida consiste en someter al sustrato a una cocción en medio ácido, posterior filtración y purificación, con lo cual se logra separar la pectina presente del resto de compuestos de las cáscaras, para luego secarla y molerla hasta tener un fino polvo listo para comercializarlo. Se lleva a cabo por diferentes operaciones. (Ávila E, 2019). [31]

Diagrama II 2 Proceso de extracción por Hidrólisis Ácida Convencional

Fuente: Elaboración Propia. 2022.

La descripción del proceso es:

1.-Recolección de la materia prima: Se recolecta residuos de limón, incluyendo el albedo (o parte interna blanca da la cáscara), semillas y membranas, de diferentes vendedores ambulantes de jugos, con el fin de tener una muestra con características del fruto y grados de madurez variados. (Baltazar R. et al., 2013). [32]

2.- Selección y pesado: Para la selección de la cáscara se escogerá la cáscara que se presente en mejores condiciones sin presentar signos de descomposición, daño o alteración, posteriormente se pesa la cáscara en una balanza analítica. (Baltazar R. et al., 2013).

3.- Lavado: Luego de pesar la cáscara se realiza un lavado con agua potable. (Baltazar R. et al., 2013).

4.- Inactivación de enzimas pécticas: Se inactivan las enzimas pécticas presentes en la cáscara calentando hasta ebullición. Esto evita que la pectina se deteriore mientras se realizan los diferentes ensayos experimentales. (Baltazar R. et al., 2013).

5.- Cortado o Triturado: Se corta en tiras con la finalidad de exponer más su área. (Baltazar R. et al., 2013).

6.- Hidrolisis Acida: Se realiza en un calentador – agitador magnético con control manual de temperatura a los diferentes pH planteados y con agitación automática durante 60 minutos. A menor pH y mayor temperatura se obtiene un mejor rendimiento. (Baltazar R. et al., 2013).

7.- Filtración: El proceso de filtrado a nivel de laboratorio, se realiza con tela filtrante. (Baltazar R. et al., 2013).

8.- Precipitación: Se usa un volumen del 96% de etanol con respecto a la solución obtenida en el proceso de hidrólisis para lograr el precipitado de la pectina. (Baltazar R. et al., 2013).

9.- Centrifugación: La solución precipitada se centrifuga a 3000 rpm durante 10 minutos y se separa la pectina de la fase líquida de la solución. (Baltazar R. et al., 2013).

10.- Secado: La pectina húmeda se seca con aire caliente hasta una humedad apropiada. (Baltazar R. et al., 2013).

11.- Molienda: Finalmente la masa sólida resultante se tritura mediante un mortero. (Baltazar R. et al., 2013).

12.- Tamizado: El polvo fino de pectina obtenido en la molienda se coloca en un tamizador con bandejas de diferente abertura de malla. (Baltazar R. et al., 2013).

13.- Pectina en polvo: La pectina como producto final es la que pasa a través de la malla, con esta operación se obtiene una muestra con tamaño de partícula homogéneo. (Baltazar R. et al., 2013).

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

Considerando el método de extracción por Hidrólisis Ácida Convencional se procederá a realizar la parte experimental partiendo de caracterizar la materia prima.

3.1 Caracterización de la materia prima cáscara de mandarina:

La cáscara de mandarina que se utiliza en este trabajo es de la variedad satsuma (Citrus unshiu), la cual presenta una corteza gruesa y rugosa, de color amarillo a naranja afirmando un grado de maduración adecuado. A continuación, se observa los parámetros de la cascara de mandarina empleada en el proceso. Para esta caracterización se partió de 2 mandarinas de la variedad satsuma.

3.1.1 Propiedades físicas:

Tabla III 1 Propiedades físicas de la cáscara de mandarina variedad satsuma

Propiedades	Unidad	Descripción
Grosor de cáscara	Mm	3 – 5
Peso total	Gr	100 – 150
Peso neto	Gr	67 – 100
Ph	-	4,62

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Las mediciones que muestran la Tabla III.1 son realizadas con la ayuda de instrumentos de laboratorio como un vernier y una balanza digital, el peso total se refiere a la cáscara de mandarina (albedo y flavedo), el peso neto es solo albedo.

Dentro de estas características físicas realizadas a la cáscara de mandarina se puede mencionar que el pH es un parámetro importante, ya que al saber el dato se puede tener conocimiento previo de cómo afectará en el proceso. En este caso, la cáscara de mandarina al presentar un pH ligeramente ácido favorece la reacción de hidrólisis.

3.1.2 Propiedades organolépticas

Cuadro III 1 Propiedades organolépticas de la cáscara de mandarina:

Propiedades	Descripción
Color de cáscara	Amarillo naranja
Olor	Característico
Sabor	Acida
Textura	Rugosa

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Las descripciones realizadas en el Cuadro III.1 son realizadas por parte del personal técnico y estudiantes en el L.O.U. de la facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.1.3 Propiedades fisicoquímicas:

Para la caracterización fisicoquímica de la cáscara de mandarina empleada en este proyecto se lleva una muestra representativa de 250 gr al Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID, ubicado dentro de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se determinan los parámetros proximales entre otros de la materia prima que se muestran en la Tabla III.2.

Tabla III 2 Propiedades Fisicoquímicas de la cáscara de mandarina

Parámetros	Técnica y/o Método de ensayo	Unidad	Resultados
Acidez (como ác. cítrico)	NB 36002:02	%	0,12
Ceniza	NB 39034:10	%	0,61
Fibra	Digestión Ácida	%	2,70
Grasa	NB 313019:06	%	0,09
Humedad	NB 313010:05	%	73,66
Hidratos de Carbono	Cálculo	%	21,0
Proteína Total	NB/ISO 8968-1:08	%	1,94
pH (20°C)	NB 338006:09	-	4,62
Sólidos Solubles	NB 36003:02	°Brix	8
Valor Energético	NB 312032:06	Kcal/100g	92,57

Fuente: CEANID, 2022

Para caracterizar a la cáscara de mandarina se determinaron los parámetros proximales mostrados en la tabla anterior. De acuerdo a sus valores obtenidos se puede mencionar que su baja acidez de 0,12 nos permite utilizar cualquier agente extractor en el proceso de la hidrólisis ácida. Los valores de ceniza, humedad y sólidos solubles favorecen a la materia prima. El contenido de fibra, grasa, hidratos de carbono, proteína total y valor energético se encuentran dentro del rango establecido por la composición nutricional de la cascara de mandarina.

3.2 VARIABLES DEL PROCESO EXPERIMENTAL

3.2.1 pH:

Es una variable independiente de la investigación, en medio del ácido los valores de pH utilizados para la extracción varían según la materia de la cual se extraen. Por lo tanto, se estudia el efecto del pH en sus dos niveles: pH 1,5 y pH 2,0 sobre la variable rendimiento. En general hay una clara tendencia a disminuir el porcentaje de pectina extraída al aumentar el pH.

3.2.2 Tiempo de hidrólisis:

Es el tiempo en la etapa de hidrólisis ácida, es también una variable independiente que se estudia para determinar su efecto en el rendimiento de pectina extraída. Los rangos de tiempo de hidrólisis están entre 60 a 80 min.

3.2.3 Concentración de etanol:

Es la concentración de etanol que se utilizará en la etapa de precipitación, es una variable independiente. Por lo tanto, se estudiará su efecto sobre la variable de rendimiento sus rangos de concentración del 96 y 80% de etanol.

3.2.4 Tiempo de precipitación:

Es una variable independiente, el tiempo de precipitación se estudia para ver de qué manera influye en el rendimiento de pectina extraída, sus dos niveles son de 12 a 15 horas.

3.2.5 Variables independientes

Cuadro III 2 Selección de las variables independientes del proceso

Nº	Variable	Unidad
1	pH	H ⁺
2	Tiempo	Min
3	Concentración	%
4	Tiempo	Hr

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.2.6 Variable dependiente:

Cuadro III 3 Selección de la variable dependiente del proceso

N°	Variable	Unidad
1	Rendimiento	%

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.3. DISEÑO FACTORIAL O EXPERIMENTAL

3.3.1. Procedimientos y Técnicas del Diseño Factorial o Experimental

3.3.1.1. Diseño Factorial a Dos Niveles 2^k

Estudia el efecto de la respuesta de “k” factores, cada uno en dos niveles, es por ello que se conocen como factoriales a dos niveles o 2^k , con frecuencia se califican a los niveles como superior (+) e inferior (-). (Fernández S, 2020). [33]

Para estudiar la manera en que influye cada factor sobre la variable de respuesta es necesario elegir al menos dos niveles de prueba para cada uno de ellos. Con el diseño factorial completo se corren aleatoriamente todas las posibles combinaciones que pueden formarse con los niveles de los factores a investigar. El diseño factorial completo requiere que cada uno de los niveles de cada factor se dé en todos los niveles y factores, lo que da un total de 2^k combinaciones de tratamientos. (Fernández S, 2020).

3.3.1.2 Análisis del Diseño Factorial 2^k :

La matriz de diseño factorial es el conjunto de puntos experimentales o tratamientos que pueden formarse considerando todas las posibles combinaciones de los niveles de factores. (Fernández S, 2020).

En el presente trabajo de investigación se realizan dos diseños factoriales correspondientes a las etapas donde el proceso sea mejor.

Las etapas seleccionadas son las siguientes:

- **1: Hidrólisis Ácida**
- **2: Precipitación**

3.3.2. Construcción del Diseño Factorial 2^k etapa 1

Para la construcción del diseño factorial se escogen las siguientes variables o factores cada uno con sus respectivos niveles:

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
A: pH (H*)	1.5	2
B: Tiempo de Hidrolisis (min)	60	80

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

El diseño factorial del presente estudio para la obtención de pectina a partir de la cáscara de mandarina pertenece al modelo 2^k ; k corresponde al número de factores que intervienen en la etapa y 2 son los niveles.

Número de corridas

$$F(n - 1) \geq 4$$

F = número de factores

$$F = 2$$

$$2(n - 1) \geq 4$$

$$n \geq 3$$

N° de corridas = 3 (1 ensayo y 2 repeticiones)

Modelo de diseño factorial = 2^k

N° de factores = 2

N° de experimentos = $2^2 = 4$

N° de pruebas = $2^2 * 3 = 12$

3.3.2.1. Construcción de la matriz de diseño

La matriz de diseño para $2^2 = 4$ experimentos o tratamientos se presenta en la siguiente tabla:

Cuadro III 4 Matriz de Diseño 1

Experimentos	Combinaciones	Factores		Repeticiones		Respuesta
		A	B	1	2	
1	1	-	-	- -	- -	Y11
2	A	+	-	+ -	+ -	Y21
3	B	-	+	- +	- +	Y12
4	AB	+	+	+ +	+ +	Y22

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3.3. Construcción del Diseño Factorial 2^k etapa 2

Para la construcción del diseño factorial se escogen las siguientes variables o factores cada uno con sus respectivos niveles:

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
A: Concentración de etanol	80%	96%
B: Tiempo de precipitación (hr)	12	15

Fuente: Elaboración Propia, 2022.

El diseño factorial del presente estudio para la obtención de pectina a partir de la cáscara de mandarina pertenece al modelo 2^k ; **k** corresponde al número de factores que intervienen en la etapa y **2** son los niveles.

Número de corridas

$$F(n - 1) \geq 4$$

F = número de factores

$$F = 2$$

$$2(n - 1) \geq 4$$

$$n \geq 3$$

N° de corridas = 3 (1 ensayo y 2 repeticiones)

Modelo de diseño factorial = 2^k

N° de factores = 2

N° de experimentos = $2^2 = 4$

N° de pruebas = $2^2 * 3 = 12$

3.3.3.1. Construcción de la matriz de diseño

La matriz de diseño para $2^2 = 4$ experimentos o tratamientos se presenta en la siguiente tabla:

Cuadro III 5 Matriz de Diseño 2

Experimentos	Combinaciones	Factores		Repeticiones		Respuesta
		A	B	1	2	
1	1	-	-	- -	- -	Y1
2	A	+	-	+ -	+ -	Y2
3	B	-	+	- +	- +	Y3
4	AB	+	+	+ +	+ +	Y4

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.4. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS NECESARIOS

3.4.1. Equipos

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

- Balanza analítica.
- Calentador-agitador magnético.
- pH-metro.
- Estufa de secado.
- Bomba de vacío.
- Viscosímetro.

- Centrifuga.
- Tamiz vibratorio.

3.4.2. Materiales de laboratorio:

Se utilizan diferentes materiales los cuales son necesarios para la extracción experimental de la pectina, tal como se visualiza en el cuadro III. 13

Cuadro III 6 Descripción de materiales utilizados

Material	Tipo	Capacidad/Tamaño	Cantidad
Vasos de precipitado	Vidrio borosilicato	1 000 ml, 600 ml, 250 ml, 100 ml.	8
Probetas	Vidrio borosilicato	100 ml, 25 ml	2
Embudo Büchner	Porcelana	Grande, mediano	2
Vidrio reloj	Vidrio pyrex	Grande	2
Espátula	Metal	Mediana	1
Matraz Erlenmeyer	Vidrio borosilicato	250 ml	1
Matraz Kitasato	Vidrio borosilicato	1000 ml	1
Caja Petri	Vidrio borosilicato	100 mm	6
Varilla	Vidrio pyrex	Mediano	1
Mortero	Porcelana	Mediano	1
Cuchillo	Acero inoxidable	Mediano	1
Termómetro	-----	-10 a 100 °C	1
Bureta	Vidrio borosilicato	50 ml	1
Papel filtro	-----	Pequeño, mediano	30
Frasco lavador	Plástico	1 000 ml	1
Frasco ámbar	Plástico	500 ml	4

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.4.3. Reactivos empleados:

Los reactivos que se emplean para la extracción experimental de pectina son los siguientes:

- Ácido clorhídrico 25%.
- Etanol al 96 % y 80%.
- Agua destilada.

Los reactivos que se emplean para la caracterización fisicoquímica de la pectina son los siguientes:

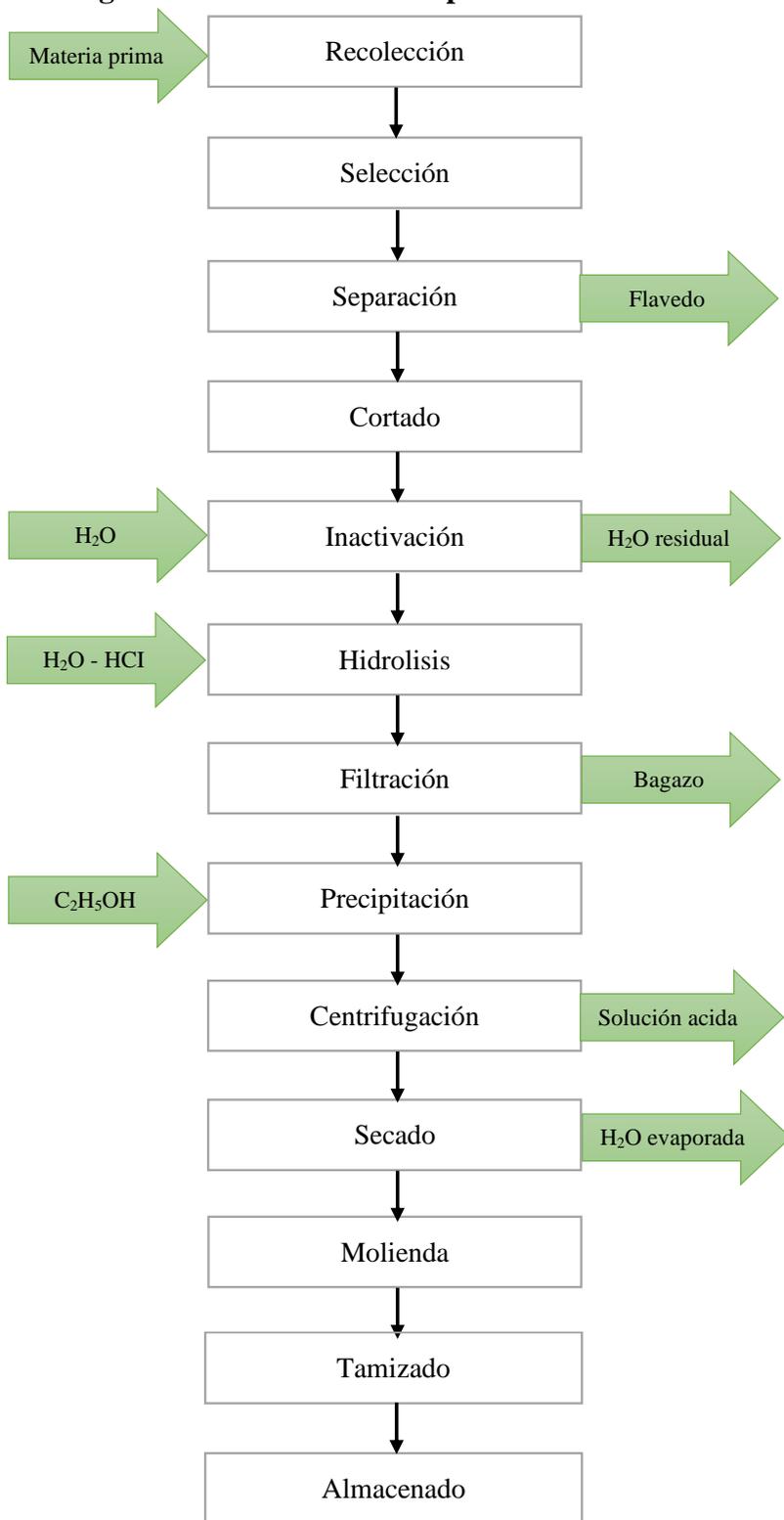
- Indicador rojo de fenol.
- Hidróxido de sodio 0,25 N.
- Hidróxido de sodio 0,1 N.
- Ácido clorhídrico 0,25 N.

3.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARA DE MANDARINA

3.5.1. Diagrama de Bloques:

A continuación, se presenta el diagrama de bloques utilizado para la obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina.

Diagrama III 1 Diagrama de bloques para la obtención de pectina a partir de cáscara de Mandarina según el método Extracción por Hidrólisis Ácida Convencional



Fuente: Elaboración Propia, 2022.

3.5.2. Descripción del diagrama de bloques para la obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina

3.5.2.1. Recolección:

La cáscara de mandarina variedad satsuma es recogida de los domicilios del Municipio de San Lorenzo, donde la fruta es consumida por las personas del hogar que después terminan desechando su cáscara.

Para la recolección de la misma se la almacena en bolsas de nylon para luego pasar a su selección. **Fotografía III 1 Recolección de cáscara de mandarina**



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.2. Selección y lavado:

Para la selección de la cáscara de mandarina variedad satsuma se toma en cuenta los siguientes aspectos: color, aspecto, grado de descomposición de tal manera que no presenten deterioros ni alteraciones, con la finalidad de obtener una materia prima que presente las mejores condiciones posibles y con un mínimo de contaminantes externos. Posteriormente, se preparó la materia prima mediante la operación de lavado con agua potable con la finalidad de librar el material de polvo, suciedades y contaminantes.

Fotografía III 2 Selección de la cáscara de mandarina

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.3. Separación:

Una vez seleccionada y lavada la cáscara que se encuentra en un estado óptimo, se separa manualmente el flavedo (parte superior) del albedo (parte inferior), que es la parte blanca donde se encuentra dicho producto de obtención que es la pectina.

Fotografía III 3 Flavedo**Fotografía III 4 Albedo**

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.4. Cortado y pesado:

Se realiza el cortado de la cáscara de mandarina (albedo) para reducir su tamaño en pequeños trozos con la finalidad de que la extracción de pectina en medio ácido sea más eficiente.

Para cada experimento, se pesan 100 gramos de cáscara de mandarina (albedo) en una balanza analítica, para calcular posteriormente el rendimiento del proceso de obtención de pectina.

Fotografía III 5 Cortado y pesado del albedo



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.5. Inactivación de enzimas pécticas:

Para la inactivación de enzimas pécticas se sumergen las cáscaras de mandarina pre tratadas en un vaso precipitado de 1 000 ml con agua destilada y se las calienta hasta ebullición en concentraciones de 100 gramos de cáscara por 600 ml de agua. Esto evita que la pectina se deteriore mientras se realizan los diferentes ensayos experimentales y contribuye a eliminar posibles microorganismos presentes en la cáscara.

Al finalizar esta etapa el agua se decanta y la materia prima queda lista para la hidrólisis acida.

Fotografía III 6 Inactivación de las enzimas pecticas del albedo



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.6. Hidrolisis ácida:

En un vaso de precipitado de 1 000 ml se agrega la misma cantidad de agua (600 ml) usada en la etapa de inactivación enzimática, pero para hidrolizar la protopectina se añade ácido clorhídrico HCl al 25 % hasta obtener un pH de 1,5 y 2,0, el cual se mide usando un pH- metro.

A esta solución ácida se le agrega la cáscara de mandarina para luego iniciar el calentamiento en un calentador – agitador magnético hasta alcanzar la temperatura de proceso: 70 – 80° C, que debe mantenerse constante durante el tiempo de hidrólisis: 60 – 80 min.

Fotografía III 7 Hidrolisis ácida



Fuente: Elaboración propia, 2022.

La mezcla se agita constantemente para evitar que la cáscara de mandarina se deposite en el fondo del recipiente de hidrólisis.

Terminado el tiempo de hidrólisis, la mezcla se enfría a 25° C utilizando agua fría en un recipiente para evitar la degradación térmica de la pectina.

3.5.2.7. Filtración:

Para la filtración de la solución de pectina se utiliza el sistema de filtrado al vacío conformado por un Kitasato y un embudo Büchner con papel filtro conectado a una bomba de vacío.

En el proceso de filtración, se separa la solución hidrolizada (fase líquida) del bagazo de cáscara de mandarina (fase sólida), la fase líquida tiene la pectina extraída de la cáscara de mandarina.

Fotografía III 8 Sistema de filtrado al vacío de la solución hidrolizada



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Fotografía III 9 Solución hidrolizada antes y después del filtrado

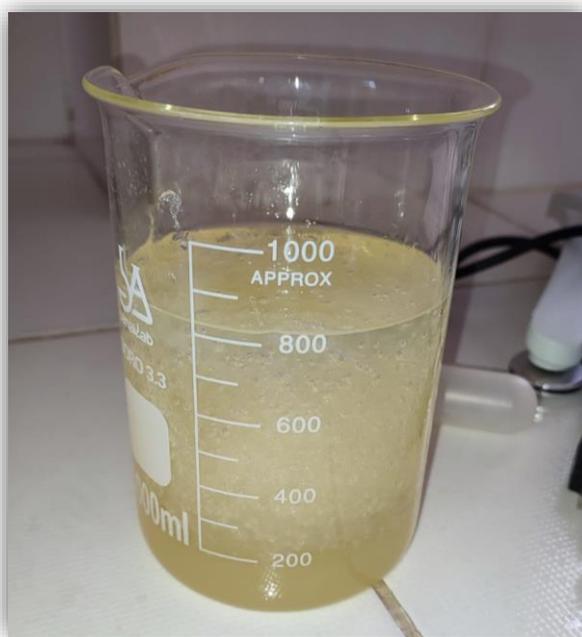


Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.8. Precipitación:

Para precipitar la solución hidrolizada se utiliza etanol (C_2H_5OH) a una concentración de 80 y 96 %, en un vaso precipitado de 1 000 ml se mide la solución que se va precipitar de acuerdo a este volumen se le agrega etanol equivalente al 80% de esta solución. Al añadir el C_2H_5OH se empieza a formar gradualmente una masa gelatinosa en la solución, la que se dejó reposar durante 12 a 15 h a temperatura ambiente.

Fotografía III 10 Precipitación de pectina con etanol



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.9. Centrifugación:

La solución de la precipitación se centrifuga a 8000 rpm durante 10 minutos para separar la pectina que está en forma de gel de la fase líquida de la solución. Posteriormente, se lava la pectina con C_2H_5OH al 96 % para mejorar su aspecto final.

Fotografía III 11 Separación de la pectina húmeda mediante centrifugación

Fuente: Elaboración propia, 2022.

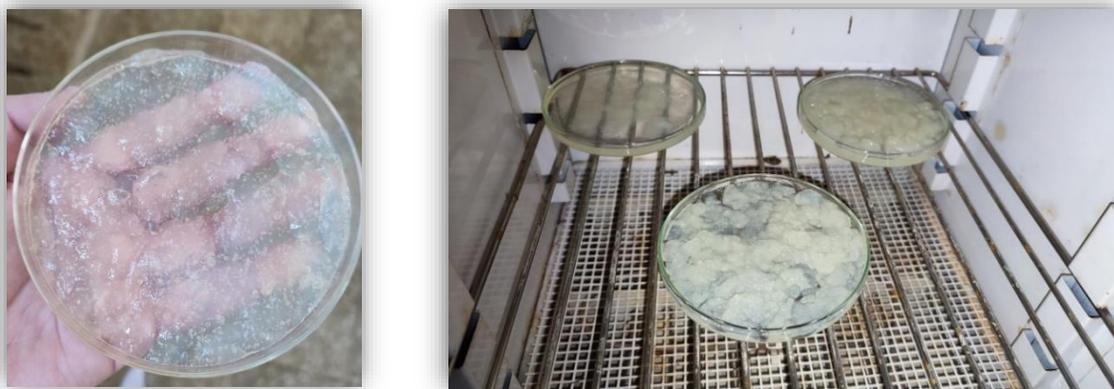
Fotografía III 12 Pectina húmeda

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.10. Secado:

La pectina húmeda se seca en una estufa, a una temperatura constante de 50° C, durante 12 horas. Al secar se observó que el color de la pectina se oscurece.

Fotografía III 13 Secado de la pectina



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Para construir la curva de secado de la pectina húmeda se registra su peso en intervalos de una hora hasta obtener un peso constante. En la tabla III 3 se detallan los datos de la pérdida de peso de la pectina extraída en el proceso de secado a temperatura constante.

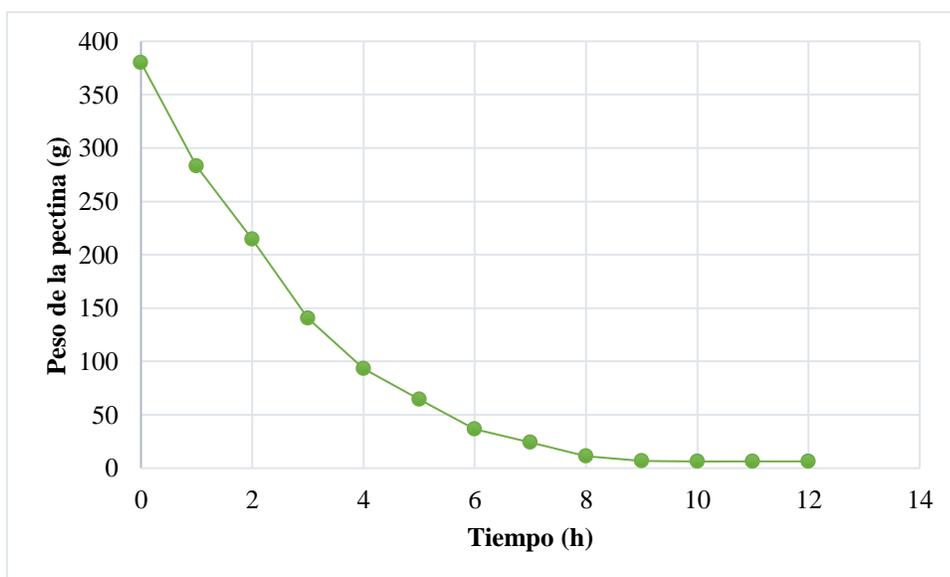
Tabla III 3 Datos de pérdida de peso de la pectina en función del tiempo de secado

Tiempo (h)	Peso de la pectina (g)
0	380,342
1	283,248
2	214,318
3	140,188
4	93,458
5	64,382

6	36,471
7	24,198
8	11,481
9	6,828
10	6,519
11	6,373
12	6,373

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Gráfica III 1 Curva de secado de la pectina (50° C)

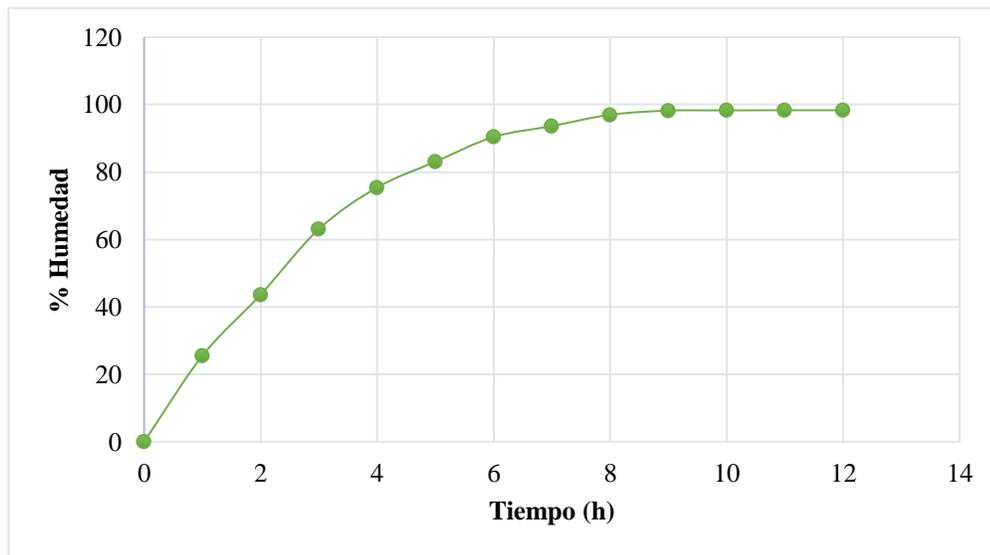


Fuente: Elaboración propia, 2022.

Como podemos observar en la tabla III 3 el peso de la pectina disminuye al pasar el tiempo en la estufa, claramente se ve en la gráfica III 1 la pérdida de peso en función del tiempo. La humedad dentro de la estufa es de 37.6 % vs la humedad del ambiente es 35.6 %. Es decir, la pectina seca mantiene su humedad al estar fuera de la estufa.

El porcentaje de humedad se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\% H = (\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / \text{Peso inicial} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Gráfica III 2 Curva de secado humedad vs tiempo

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De acuerdo a los datos obtenidos de la (Ec. 1) podemos observar en la gráfica III 2 que al pasar el tiempo el porcentaje de humedad va aumentando y respectivamente el peso va disminuyendo como se observa en la gráfica III 1.

3.5.2.11. Molienda:

Para la molienda se utiliza un mortero manual en el que se logra triturar la pectina seca operación que dura 20 minutos, suficiente para reducir el tamaño de las partículas de pectina y así obtener un producto en polvo fino con una mejor apariencia.

Fotografía III 14 Molienda de la pectina

Fuente: Elaboración propia. 2022.

3.5.2.12. Tamizado:

El polvo fino de pectina obtenido en la molienda se coloca en un tamizador con bandejas de diferente abertura de malla. La pectina como producto final es la que pasa a través de la malla N° 60 (ASTM), con esta operación se obtiene una muestra con tamaño de partícula homogéneo.

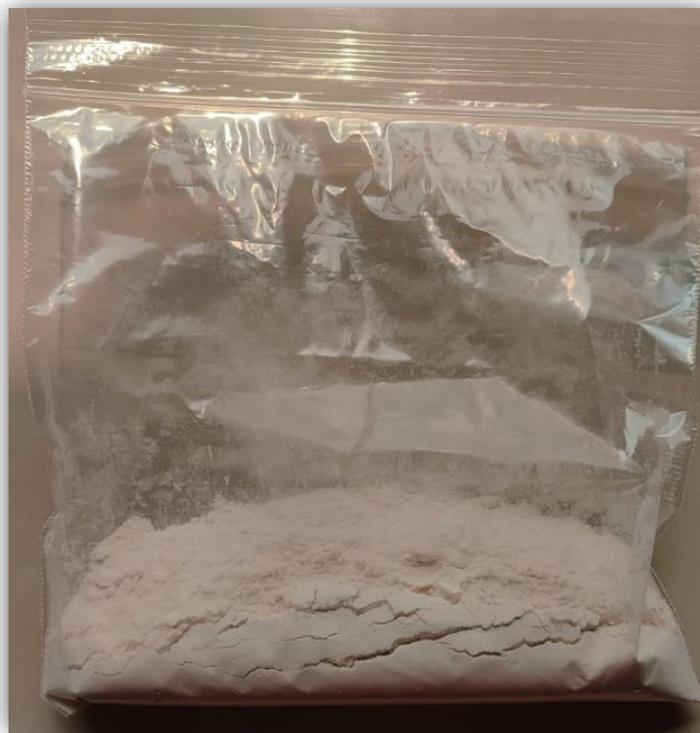
Fotografía III 15 Molienda de la pectina

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5.2.13. Almacenado:

La pectina molida y tamizada se pesa en una balanza analítica, y se la envasa en bolsas de polietileno de alta densidad (aptas para envasar insumos alimenticios) se almacena en un lugar seco y fresco para evitar la contaminación u modificaciones en su apariencia y en su calidad, para luego realizar la caracterización físico- química del producto.

Fotografía III 16 Envasado de la pectina



Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.6. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA PECTINA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARA DE MANDARINA

3.6.1. Determinación de peso equivalente y acidez libre

Se pesa 0.5 g de la pectina obtenida y se coloca en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se agrega 5 ml de C_2H_5OH al 96 %, luego 100 ml de agua destilada y a la solución 6 gotas del indicador rojo de fenol. Se agita y posteriormente se titula con $NaOH$ 0.1 N hasta viraje de color amarillo a rosa.

Fotografía III 17 Determinación del peso equivalente y acidez libre



Fuente: Elaboración propia 2022.

3.6.2. Determinación de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico anhidro

Se utiliza la solución de la determinación de peso equivalente y acidez libre, se le agrega 25 ml de hidróxido de sodio 0,25 N y se deja reposar por 30 minutos a temperatura ambiente. Luego se le agrega 25 ml de ácido clorhídrico 0,25 N; esta solución se agita y se titula con hidróxido de sodio 0,1 N, tomando como punto final de la titulación el color rojizo de la solución por 20 segundos.

Fotografía III 18 Determinación de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico anhidro



Fuente: Elaboración propia. 2022.

3.6.3. Grado de gelificación:

Se preparan cuatro soluciones de pectina en vasos de precipitado de 250 ml, con peso de 0,4; 0,7; 1,0; 1,4 g de pectina. Se adiciona 50 ml de agua destilada a cada vaso de precipitado y se calientan hasta la disolución de la pectina, después se añade 100 g de sacarosa ($C_{12}H_{22}O_{11}$) a cada solución, se calienta y agita hasta su completa disolución.

Fotografía III 19 Ensayos de gelificación



Fuente: Elaboración propia. 2022.

A la solución anterior se añadió agua destilada hasta tener un peso de 150 g en cada vaso. Finalmente, estos geles se dejan reposar por 24 horas y luego se procedió a medir su viscosidad a 60 ° C con un viscosímetro rotacional.

Fotografía III 20 Medición de la viscosidad de los geles de pectina



Fuente: Elaboración propia. 2022.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE MANDARINA

El análisis de la materia prima; albedo para el desarrollo experimental del presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la UAJMS, en la tabla IV-1 se muestran los resultados obtenidos. (Anexo 5)

Tabla IV 1 Análisis físico-químico de la cáscara de mandarina

Parámetros	Unidad	Resultados
Acidez (como ác. cítrico)	%	0,12
Ceniza	%	0,61
Fibra	%	2,70
Grasa	%	0,09
Humedad	%	73,66
Hidratos de Carbono	%	21,0
Proteína Total	%	1,94
pH (20°C)	-	4,62
Solidos Solubles	°Brix	8
Valor Energético	Kcal/100g	92.57

Fuente: CEANID, 2022.

4.2. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE PRODUCTO EXTRAÍDO

4.2.1. Resultados del rendimiento del proceso:

De acuerdo al diseño factorial, se realizan 24 experimentos de obtención de pectina y parámetros propuestos, correspondiente a tres corridas 1 ensayo y 2 repeticiones.

Se procede a extraer la pectina de la cáscara de mandarina en 100 g de materia prima,

a temperatura de 80 °C, pH de 1,5 – 2,0, tiempo de hidrólisis de 60 - 80 min, con etanol al 80 – 96% y tiempo de precipitado de 12 – 15 hrs. Se determinó el porcentaje de rendimiento y con estos resultados los parámetros óptimos para el proceso de extracción.

Para determinar el rendimiento del proceso de extracción de pectina a partir de la cáscara de mandarina, se basa el cálculo, en la relación entre la cantidad de pectina extraída como producto final y la cantidad de materia prima utilizada para la extracción.

Tabla IV 2 Resultados de rendimiento de la pectina obtenida etapa 1- Hidrólisis Ácida

N.º	Parámetros de extracción		Porcentaje de Rendimiento (%p/p)			Promedio
	pH	Tiempo (min)	Ensayo	Réplica 1	Réplica 2	
1	1,5	60	3,174	3,533	4,214	3,640
2	2,0	60	1,653	1,847	2,245	1,915
3	1,5	80	5,641	4,773	6,373	5,595
4	2,0	80	2,146	2,761	3,167	2,691

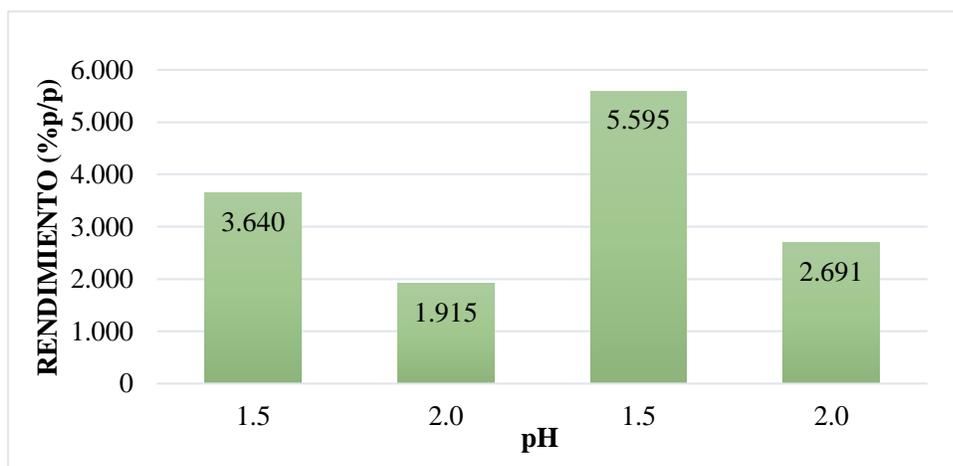
Fuente: Elaboración propia. 2022.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los parámetros óptimos para la obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina son del experimento 3, el que se realiza a temperatura de hidrólisis de 80 °C, con pH de 1,5 y tiempo de hidrólisis de 80 min, obteniéndose el mayor rendimiento cuyo promedio es de 5,595 % p/p.

La pectina obtenida aplicando los parámetros del experimento 1 logra un rendimiento de 3,640% p/p, que es el segundo más alto. Sin embargo, se necesita menor tiempo de hidrólisis que implica menor gasto energético. El experimento que reporta el menor rendimiento es el 2, el cual tiene 1,915% p/p.

Por otra parte, se ve que a pH 1,5 el rendimiento en la extracción es mayor; a pH 2,0 el rendimiento disminuye para cada uno de los cuatro experimentos, tal como se aprecia en la siguiente figura:

Gráfica IV 1 Rendimiento vs pH



Fuente: Elaboración propia. 2022.

Tabla IV 3 Resultados de rendimiento de la pectina obtenida etapa 2- Precipitación

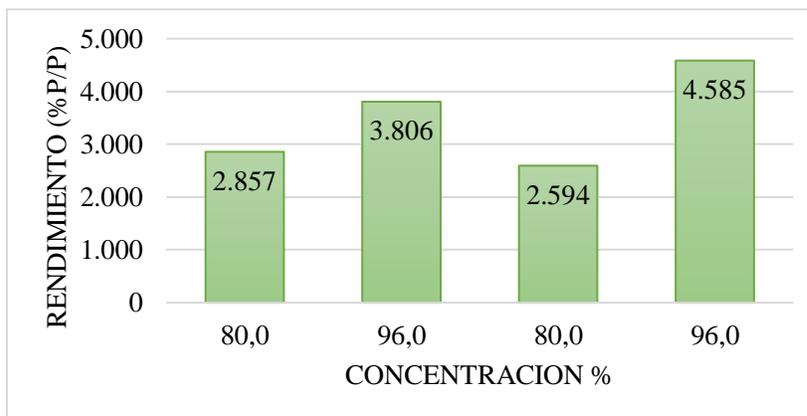
N.º	Parámetros de extracción		Porcentaje de Rendimiento (%p/p)			Promedio
	Concentración (%)	Tiempo (hrs)	Ensayo	Réplica 1	Réplica 2	
1	80	12	1,653	2,146	4,773	2,857
2	96	12	3,533	2,245	5,641	3,806
3	80	15	3,174	1,847	2,761	2,594
4	96	15	4,214	6,373	3,167	4,585

Fuente: Elaboración propia. 2022.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la pectina extraída aplicando los parámetros del experimento 4: concentración de etanol al 96% y tiempo de precipitado 15 hrs presenta mayor rendimiento: 4,585% p/p en comparación al resto de los experimentos.

La pectina obtenida aplicando los diferentes parámetros demostró que el mayor rendimiento es a una concentración de etanol al 96% en comparación a una concentración del 80%, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:

Gráfica IV 2 Rendimiento vs concentración



Fuente: Elaboración propia. 2022.

4.2.2. Presentación de los resultados de la caracterización fisicoquímica de la pectina extraída:

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluyó que los parámetros óptimos para la obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina son: para la etapa 1- Hidrolisis un pH de 1,5 y un tiempo de hidrolisis de 80 min, para la etapa 2 – Precipitación una concentración de etanol al 96% y un tiempo de precipitado de 15 hrs, con los que se logra obtener un mayor rendimiento.

La pectina final obtenida a los parámetros óptimos identificados se emplea para la caracterización físico-química.

4.2.2.1. Resultados de análisis físico-químicos de la pectina obtenida:

Con los parámetros identificados con los cuales se obtiene un mayor rendimiento, se obtiene pectina para la realización de la caracterización fisicoquímica en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la UAJMS en la tabla IV.4 se muestra el detalle de los resultados. (Anexo 6)

Tabla IV 4 Análisis fisicoquímico de la pectina obtenida

Parámetros	Técnica y/o Método de ensayo	Unidad	Resultados
Acidez (como ác. cítrico)	NB 36002:02	%	0,01
Ceniza	NB 39034:10	%	1,05
Humedad	NB 313010:05	%	4,70
pH (20°C)	NB 338006:09	-	4,22

Fuente: CEANID. 2022.

4.2.2.2. Resultados de acidez libre y peso equivalente:

En la tabla N° IV.5 se muestran los resultados por triplicado del análisis de acidez libre y peso equivalente de la pectina extraída de la cáscara de mandarina, los cuales son determinados mediante titulación ácido – base.

Tabla IV 5 Resultados del análisis de acidez libre y peso equivalente

pH – Tiempo Conc. – Tiempo	Miliequivalentes NaOH gastados	Acidez libre (meq NaOH/g pectina)	Peso equivalente(mg pectina/meq NaOH)
1.5 – 80 (min)	0,320	0,640	1.562,512
96 (%) – 15 (hrs)	0,330	0,660	1.515,151
	0,320	0,640	1.562,512
Promedio	0,323	0,647	1.546,725

Fuente: Elaboración propia, 2022.

La pectina extraída presenta un valor promedio de 0,647 meq NaOH/g pectina de acidez libre.

Este valor es menor al obtenido por (Benítez Hugo, 2021) quien uso cáscara de limón como materia prima para la extracción de pectina y menor al valor obtenido por (Muñoz Pablo, 2016) en la extracción de pectina a partir de cáscara de plátano.

El valor promedio de peso equivalente que se obtiene es de 1.546,725 mg pectina/ meq NaOH, el cual representa los carboxilos libres en la cadena lineal de la pectina. Este valor es mayor al obtenido por (Benítez Hugo, 2021) y al valor obtenido por (Muñoz Pablo, 2016), cómo se describe en la tabla IV.6.

Tabla IV 6 Tabla comparativa de la pectina extraída con otros autores

Parámetros	Pectina extraída	Pectina por Benítez Hugo	Pectina por Muñoz Pablo
Acidez libre (meq NaOH/g pectina)	0,647	0,827	9,48
Peso equivalente (mg pectina/meq NaOH)	1.546,725	1.209,832	105,57

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.2.2.3. Resultados del porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico

En la tabla IV.7 se muestran los resultados del análisis del porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico de la pectina extraída, los cuales son determinados mediante titulación ácido-base.

Tabla IV 7 Resultados del análisis de porcentaje de metoxilo, grado de esterificación y ácido anhídrido galacturónico

pH – Tiempo Conc. – Tiempo	Miliequivalentes NaOH gastados	Contenido de metoxilo (%)	Grado de esterificación (%)	Ácido anhídrido galacturónico (%)
1.5 – 80 (min)	1,780	11,036	84,761	74,648
96 (%) – 15 (hrs)	1,760	10,912	84,210	74,163
	1,780	11,036	84,761	74,648
Promedio	1,767	10,994	84,577	74,486

Fuente: Elaboración propia, 2022.

El porcentaje de metoxilo obtenido es de 10,994%, este dato nos indica que la mayoría de las unidades de grupos carboxilo son esterificados con metanol.

El grado de esterificación es de 84,577 %, lo que indica que la pectina obtenida en el presente estudio es de alto metoxilo.

El contenido de ácido anhídrido galacturónico determina la pureza de la pectina extraída, este es el parámetro más importante para determinar la calidad de la pectina, el valor obtenido es de 74,486%, indica que se tiene una pectina de pureza alta, el resto corresponde al contenido de cenizas y otros azúcares unidos a la cadena lineal del polímero.

En la tabla IV.8 se realiza la comparación del resultado obtenido con los resultados de otras investigaciones tales como de Benítez y Muñoz.

Tabla IV 8 Tabla comparativa de la pectina extraída con otros autores

Parámetros	Pectina extraída	Pectina por Benítez Hugo	Pectina por Muñoz Pablo
Metoxilo (%)	10,994	11,263	42,715
Grado de esterificación (%)	84,577	81,343	59,245
Ácido anhídrido galacturónico (%)	74,486	71,743	52,175

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.2.2.4. Resultados de grado de gelificación:

Tabla IV 9 Resultados del análisis de grado de gelificación y viscosidad de la pectina extraída

Ensayo	Pectina (g)	Grado de gelificación (°SAG)	Viscosidad a 60 °C (cP)
1	0,4	250	140
2	0,7	142,86	230
3	1	100	180
4	1,4	71,43	210

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De la experimentación hecha, el mejor grado de gelificación se obtiene en el segundo ensayo (142.86 °SAG), donde se utiliza 0,7 gramos de pectina que presenta mejores resultados de gelificación (mayor rapidez y consistencia) lo cual demuestra una gelificación rápida, es decir menor a 5 minutos.

4.2.3. Presentación de los resultados de la caracterización microbiológica de la pectina extraída:

Con los parámetros identificados con los cuales se obtiene un mayor rendimiento, se obtiene pectina para la realización de la caracterización microbiológica en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la UAJMS en la tabla IV.10 se muestra el detalle de los resultados. (Anexo 7)

Tabla IV 10 Análisis microbiológico de la pectina obtenida

Parámetros	Técnica y/o Método de ensayo	Unidad	Resultados
Coliformes totales	NB 32005:02	ufc/g	$< 1,0 * 10^1$
Coliformes fecales	NB 32005:02	ufc/g	$< 1,0 * 10^1$

Fuente: CEANID, 2022.

4.3. COMPARACIÓN ENTRE LA PECTINA OBTENIDA A PARTIR DE CÁSCARA DE MANDARINA Y LA PECTINA ESTÁNDAR.

Se realizan los siguientes análisis fisicoquímicos de la pectina obtenida:

Tabla IV 11 Comparación entre la pectina de cáscara de mandarina y la pectina cítrica

Parámetro	Unidad	Especificación (Pectina cítrica)	Pectina obtenida de cáscara de mandarina
pH	H ⁺	2,5 – 4,4	4,22
Humedad	% masa	8,51 ± 1,95	4,70
Cenizas	% masa	3,77 ± 3,39	1,05
Acidez libre	meq/g	0,78 ± 0,46	0,647
Peso equivalente	mg/meq	1.775,46 ± 1.143,78	1.546,725
Contenido de Metoxilo	%	6,93 ± 3,22	10,994
Grado de Esterificación	%	74,71 ± 3,32	84,577
Ácido galacturónico	%	68,29 ± 13,39	74,486
Grado de Gelificación	°SAG	150 ± 5	142,86
Color	-	Marrón claro a blanco crema	Beige claro

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Los valores obtenidos de pH y cenizas de la pectina extraída son de 4,22 y cenizas de 1,05 % respectivamente, los que se encuentran dentro del rango establecido de la pectina cítrica. El bajo pH nos ayuda a gelificar y el bajo porcentaje de cenizas no afecta en la capacidad de gelificación del producto.

El valor de la humedad de la pectina extraída es de 4,70 % bajo contenido de humedad que ayuda a prolongar la conservación de la pectina extraída impidiendo el desarrollo de microorganismos.

Se obtuvo una acidez libre 0,647meq/g de la pectina extraída, este valor se encuentra dentro del rango establecido de la pectina estándar. La acidez libre representa los carboxilos libres en la cadena lineal de la pectina.

El valor obtenido del análisis realizado del peso equivalente de la pectina extraída es de 1.546,725 mg/meq, que está dentro del rango determinado en la pectina cítrica. Este valor está definido como el número de mg de ácido galacturónico puro por miliequivalente de grupos carboxilo libres.

El contenido de metoxilo de la pectina extraída es de 10,994 %, este parámetro contribuye por un lado a regular la velocidad de gelificación y también es responsable de algunas propiedades organolépticas de los geles pectina-azúcar. El valor que se obtuvo está ligeramente por encima del rango especificado en la pectina estándar.

Se obtuvo un grado de esterificación de 84,577 % en la pectina extraída, por lo tanto, se clasifica como pectina de alto metoxilo. El valor obtenido en el análisis realizado está ligeramente por encima del rango establecido en la pectina cítrica. Debido a que se obtiene una pectina de alto grado de esterificación, mayor es la temperatura de gelificación.

El ácido anhídrido galacturónico es el parámetro más importante para determinar su calidad, es decir, que entre mayor es el porcentaje del ácido galacturónico mayor es la pureza.

El porcentaje que se obtuvo de ácido anhídrido galacturónico en la pectina extraída es de 74,486 %, valor que está dentro del rango establecido en la pectina cítrica. Por lo

tanto, se obtuvo una pectina de una pureza aceptable con baja cantidad de impurezas.

El grado de gelificación de la pectina extraída es de 142,86 °SAG, se demuestra una gelificación rápida, valor por debajo de lo que indica el rango establecido en la pectina cítrica que es de 150 °SAG. Esto se debe a que la pectina obtenida tiene alto grado de esterificación o de metoxilación.

Esta característica química determina su capacidad para formar geles en presencia de azúcar y ácido. Por esta razón, es de gran aplicación principalmente a la elaboración de mermeladas, jaleas y preparación de bebidas lácteas.

4.4. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE PECTINA A PARTIR DE CÁSCARA DE MANDARINA

4.4.1. Balance de materia:

El balance de materia se realiza para determinar los flujos de masa y las pérdidas que existen en el proceso, ya sea en la etapa de inactivación enzimática, hidrólisis ácida, filtración, precipitación, secado, etc.

El balance de materia se realiza tomando como base los datos obtenidos experimentalmente, considerando la extracción de pectina a partir de 100 g de cáscara de mandarina. Para realizar el balance se utilizan los parámetros con los cuales se obtienen mayor rendimiento en la extracción de pectina: Temperatura de 80 °C, pH de 1,5 y tiempo de hidrólisis de 80 min.

Tabla IV 12 Especificaciones de las corrientes másicas del balance de materia de la extracción de pectina a partir de la cáscara de mandarina

Flujo másico	Nombre
F₁	Cáscara de mandarina recolectada
F₂	Agua potable
F₃	Impurezas, agua residual
F₄	Cáscara de mandarina seleccionada
F₅	Flavedo
F₆	Albedo extraído de la cáscara de mandarina
F₇	Albedo cortado triturado y pesado
F₈	Agua potable
F₉	Agua residual
F₁₀	Agua evaporada
F₁₁	Albedo desactivado
F₁₂	Agua potable
F₁₃	Ácido clorhídrico 25 % p/p
F₁₄	Vapor de agua
F₁₅	Masa de la solución hidrolizada
F₁₆	Bagazo

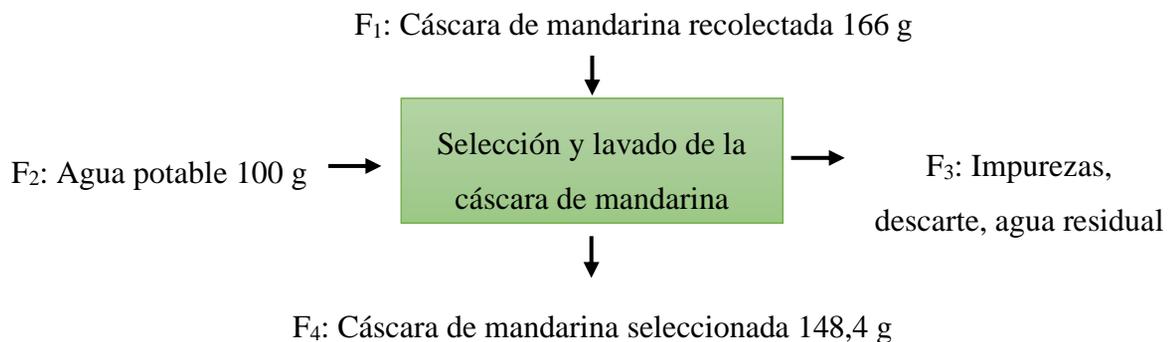
F17	Perdidas por filtración
F18	Solución de pectina diluida
F19	Etanol 96 °GL
F20	Pectina precipitada en solución
F21	Etanol 96 °GL
F22	Solución residual
F23	Perdidas por centrifugación
F24	Pectina húmeda
F25	Pectina seca
F26	Vapor de agua
F27	Pectina perdida
F28	Pectina molida
F29	Pectina perdida
F30	Pectina granulada para envasar

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.4.2. Desglosamiento del balance de materia en sus distintas etapas (B.C. 166 g)

4.4.2.1. Etapa 1: selección y lavado de la cáscara de mandarina

Figura IV 1 Selección y lavado de la cáscara de mandarina



Balance general

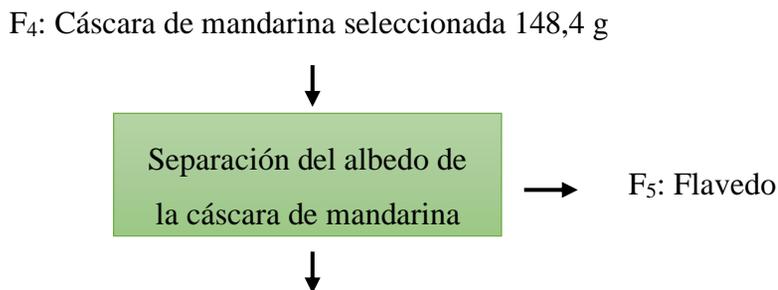
$$F_1 + F_2 = F_3 + F_4 \quad \text{Ec. (1)}$$

$$F_3 = F_1 + F_2 - F_4 \quad \text{Ec. (2)}$$

$$F_3 = 166 + 100 - 148,4 = 117,6 \text{ g}$$

4.4.2.2. Etapa 2: separación del albedo

Figura IV 2 Separación del albedo de la cáscara de mandarina



Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general

$$F_4 = F_5 + F_6 \quad \text{Ec. (3)}$$

$$F_5 = F_4 - F_6 \quad \text{Ec. (4)}$$

$$F_5 = 148,4 - 100,1 = 48,3 \text{ g}$$

4.4.2.3. Etapa 3: cortado, pesado del albedo:

Figura IV 3 Cortado del albedo

F₆: Albedo de la cáscara de mandarina 100,1 g



F₇: Albedo cortado y pesado

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Balance general

$$F_6 = F_7$$

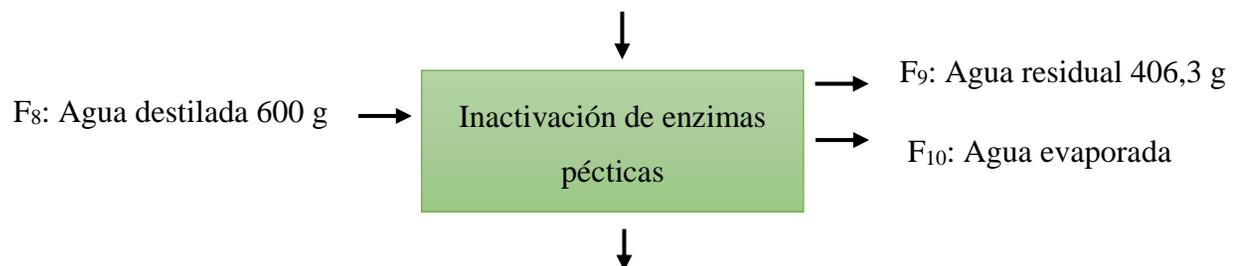
Ec. (5)

$$F_7 = 100,1 \text{ g}$$

4.4.2.4. Etapa 4: inactivación enzimática:

Figura IV 4 Inactivación de enzimas pecticas

F₇: Albedo cortado y pesado 100,1 g



F₁₁: Albedo de la cáscara de
mandarina desactivado 232,5 g

Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general

$$F_7 + F_8 = F_9 + F_{10} + F_{11}$$

Ec. (6)

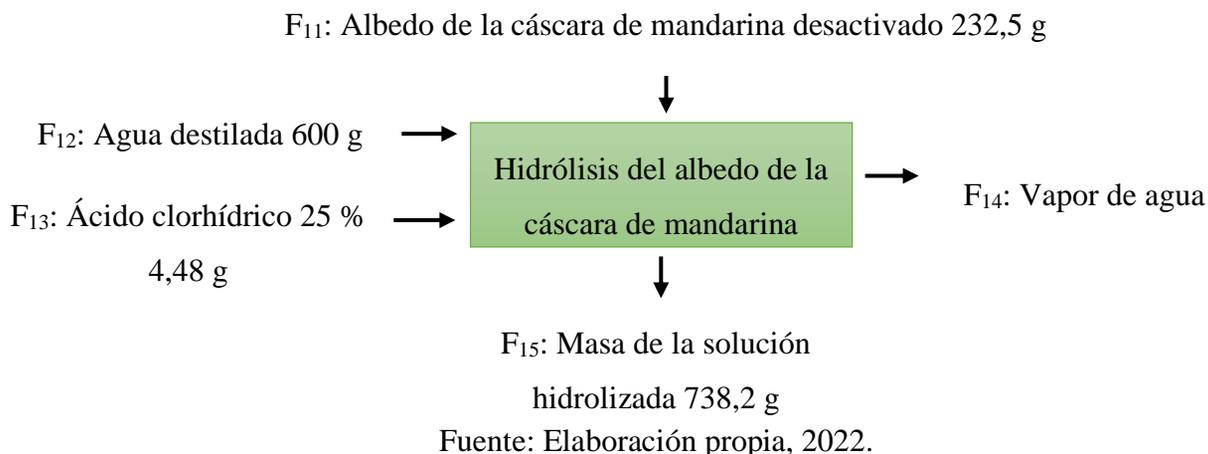
$$F_{10} = F_7 + F_8 - F_9 - F_{11}$$

Ec. (7)

$$F_{10} = 100,1 + 600 - 406,3 - 232,5 = 61,3 \text{ g}$$

4.4.2.5. Etapa 5: hidrólisis acida del albedo:

Figura IV 5 Hidrolisis



Balance general

$$F_{11} + F_{12} + F_{13} = F_{14} + F_{15} \quad \text{Ec. (8)}$$

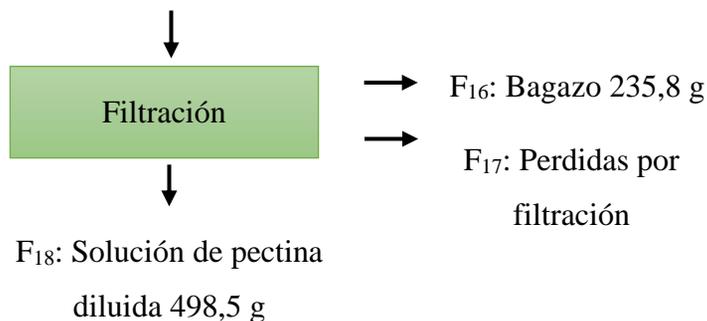
$$F_{14} = F_{11} + F_{12} + F_{13} - F_{15} \quad \text{Ec. (9)}$$

$$F_{14} = 232,5 + 600 + 4,48 - 738,2 = 98,8 \text{ g}$$

4.4.2.6. Etapa 6: filtración de la solución hidrolizada

Figura IV 6 Filtración

F₁₅: Masa de solución hidrolizada 738,2 g



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Balance general

$$F_{15} = F_{16} + F_{17} + F_{18} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$F_{17} = F_{15} - F_{16} - F_{18} \quad \text{Ec. (11)}$$

$$F_{17} = 738,2 - 235,8 - 498,5 = 3,9 \text{ g}$$

4.4.2.7. Etapa 7: precipitación de la pectina:

La solución de pectina diluida se precipitó con etanol al 96% a una relación del 80% del volumen de la solución.

$$V_{\text{etanol}} = V_{\text{solución}} * 0.8$$

$$V_{\text{etanol}} = 500 \text{ ml} * 0.8$$

$$V_{\text{etanol}} = 400 \text{ ml}$$

Se considera una densidad del etanol al 96 % de 0,806 g/ml. Por lo tanto, la masa de etanol al 96 % utilizado para la etapa de precipitación es de:

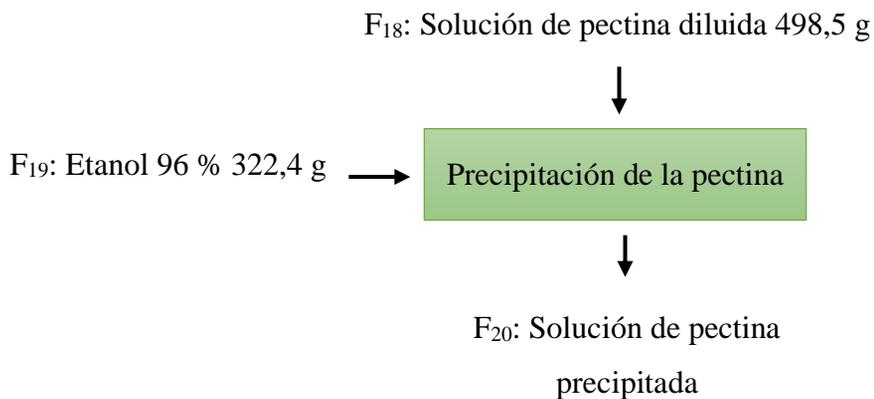
$$\rho_{\text{etanol}} = m_{\text{etanol}} / V_{\text{etanol}}$$

$$m_{\text{etanol}} = \rho_{\text{etanol}} * V_{\text{etanol}}$$

$$m_{\text{etanol}} = 0,806 \text{ g/ml} * 400 \text{ ml}$$

$$m_{\text{etanol}} = 322,4 \text{ g}$$

Figura IV 7 Precipitación de pectina



Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general

$$F_{18} + F_{19} = F_{20}$$

Ec. (12)

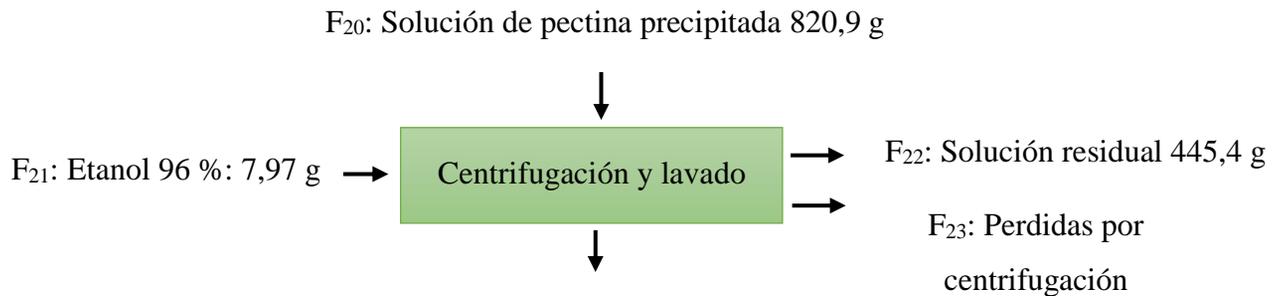
$$F_{20} = F_{18} + F_{19}$$

Ec. (13)

$$F_{20} = 498,5 + 322,4 = 820,9 \text{ g}$$

4.4.2.8. Etapa 8: centrifugación y lavado de la pectina:

Figura IV 8 Centrifugación y lavado



F₂₄: Pectina húmeda 380,3 g
Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general

$$F_{20} + F_{21} = F_{22} + F_{23} + F_{24} \quad \text{Ec. (14)}$$

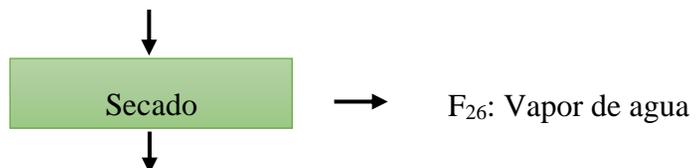
$$F_{23} = F_{20} + F_{21} - F_{22} - F_{24} \quad \text{Ec. (15)}$$

$$F_{23} = 820,9 + 7,97 - 445,4 - 380,3 = 3,2 \text{ g}$$

4.4.2.9 Etapa 9: secado de la pectina:

Figura IV 9 Secado

F₂₄: Pectina húmeda 380,3 g



F₂₅: Pectina seca 6,533 g
Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general

$$F_{24} = F_{25} + F_{26} \quad \text{Ec. (16)}$$

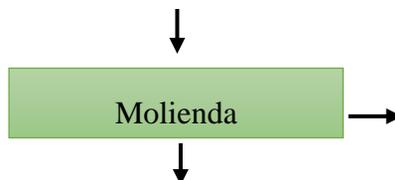
$$F_{26} = F_{24} - F_{25} \quad \text{Ec. (17)}$$

$$F_{26} = 380,3 - 6,533 = 373,8 \text{ g}$$

4.4.2.10. Etapa 10: molienda de la pectina:

Figura IV 10 Molienda

F₂₅: Pectina seca 6,533 g



F₂₇: Perdidas en molienda

F₂₈: Pectina molida 6,481 g

Fuente: Elaboración propia, 2022

Balance general

$$F_{25} = F_{27} + F_{28} \quad \text{Ec. (18)}$$

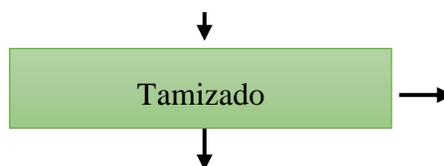
$$F_{27} = F_{25} - F_{28} \quad \text{Ec. (19)}$$

$$F_{27} = 6,533 - 6,481 = 0,052 \text{ g}$$

4.4.2.11. Etapa 11: tamizado de la pectina:

Figura IV 11 Tamizado

F₂₈: Pectina molida 6,481 g



F₂₉: Perdida por tamizado

F₃₀: Pectina fina para envasar

6,373 g

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Balance general

$$F_{28} = F_{29} + F_{30} \quad \text{Ec. (20)}$$

$$F_{29} = F_{28} - F_{30} \quad \text{Ec. (21)}$$

$$F_{29} = 6,481 - 6,373 = 0,108 \text{ g}$$

4.4.3. Balance de energía:

En el siguiente acápite, se realizan los balances de energía para los procesos de extracción de la pectina a partir de la cáscara de mandarina.

El balance de energía es una extensión del balance de materia realizado, por lo cual varios datos serán utilizados.

Tabla IV 13 Datos obtenidos del proceso de obtención de pectina

Composición de la cáscara de mandarina	Valor	Unidad
Humedad inicial	73,66	%
Sólidos solubles y no solubles	26,34	%
pH	4,62	
Reactivos e insumos		
Ácido clorhídrico al 25 %	4,48	G
Etanol al 96 %	330,4	G
Condiciones de operación de inactivación		
Temperatura de inactivación	25-90	° C
Tiempo de inactivación	20	Min
Condiciones de operación de la hidrólisis		
Temperatura de hidrólisis	25-80	° C
Tiempo de hidrólisis	80	Min
Condiciones de operación de filtración		
Temperatura de filtración	25	° C
Tiempo de filtración	120	Min

Condiciones de operación de centrifugación		
Temperatura de centrifugación	25	° C
Tiempo de centrifugación	20	Min
Velocidad de centrifugación	8000	Rpm
Condiciones de operación de secado		
Temperatura de secado	25-50	° C
Tiempo de secado	720	Min

Fuente: Elaboración propia, 2022.

4.4.3.1. Inactivación enzimática

El balance de energía sobre la inactivación de las enzimas pépticas consiste en sumergir las muestras extraídas de la cáscara de mandarina (albedo) en agua y calentarlas hasta el punto de ebullición.

Tabla IV 14 Datos inactivacion enzimatica

Descripción	Valor	Unidad	Bibliografía
Temperatura de operación final (Tf)	90	°C	Propio, medido
Temperatura ambiente (Ti)	25	°C	Propio, medido
Masa del vidrio (recipiente) (M_{vi})	315	G	Propio, medido
Calor específico del vidrio (C_{pvi})	0,2	Cal/g*°C	Cengel 7 ^{ma} edición
Masa del agua potable (F_8)	600	g	Propio, medido
Calor específico del agua potable (C_{pa})	1 4,19	Cal/g*°C J/ g*°C	Cengel 7 ^{ma} edición [34]
Masa del albedo (F_6)	100,1	G	Propio, medido

Calor específico del albedo (C_{p_x})		-	Calcular
Masa de agua evaporada (F_{10})	61,3	G	Propio, generado del balance de materia
Calor latente del agua a 90 °C (λ_{agua})	540	Cal/g	Cengel 7 ^{ma} edición
Tiempo de operación (top)	20	Min	Medido

Fuente: Elaboración propia, 2022.

El balance general de energía viene dado de la siguiente forma:

Q entregado= Q absorbido

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_v + Q_{vi} + Q_a + Q_x \quad \text{Ec. 1}$$

Q_v = Calor latente para evaporar el agua de la solución. Cal

Q_{vi} = Calor sensible del vidrio. Cal

Q_a = Calor sensible del agua. Cal

Q_x = Calor sensible del albedo. Cal

$$Q_v = F_{11} * \lambda_{\text{agua}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$Q_v = 61,3 * 540 = 33.102 \text{ Cal}$$

$$Q_{vi} = M_{vi} * C_{p_{vi}} * (T_f - T_i) \quad \text{Ec. 3}$$

$$Q_{vi} = 315 * 0,2 * (90 - 25) = 4.095 \text{ Cal}$$

$$Q_a = F_9 * C_{p_a} * (T_f - T_i) \quad \text{Ec. 4}$$

$$Q_a = 600 * 1 * (90 - 25) = 39.000 \text{ Cal}$$

Para determinar el calor específico de las muestras de albedo de la cáscara de mandarina, se tomó en cuenta la ecuación propuesta por (Quisbert, 2013). [35]

$$C_{p_a} = X_c * C_{p_c} + X_p * C_{p_p} + X_g * C_{p_g} + X_{ce} * C_{p_{ce}} + X_x * C_{p_x} + X_f * C_{p_f} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Calor específico del albedo = C_{p_x} = Calcular

Fracción de la masa de los carbohidratos = $X_x = 0,7366$

Calor específico de los carbohidratos = $C_{p_c} = 1,3 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$

Fracción de la masa de los carbohidratos = $X_c = 0,21$

Calor específico de las proteínas = $C_{p_p} = 1,2 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$

Fracción de la masa de las proteínas = $X_p = 0,0194$

Calor específico de las grasas = $C_{p_g} = 1,8 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$

Fracción de la masa de las grasas = $X_g = 0,0009$

Calor específico de las cenizas = $C_{p_{ce}} = 0,8 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$

Fracción de la masa de cenizas = $X_{ce} = 0,0061$

Calor específico de la fibra = $C_{p_f} = 1,5 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$

Fracción de la masa de fibra = $X_f = 0,0270$

Despejando C_{p_x} de la ecuación 5 tenemos:

$$C_{p_x} = X_x * C_{p_a} + X_c * C_{p_c} + X_p * C_{p_p} + X_g * C_{p_g} + X_{ce} * C_{p_{ce}} + X_f * C_{p_f}$$

$$C_{p_x} = 0,7366 * 4,19 + 0,21 * 1,3 + 0,0194 * 1,2 + 0,0009 * 1,8 + 0,0061 * 0,8 + 0,027 * 1,5 = 3,429 \text{ J/g}^{\circ}\text{C} = 0,819 \text{ Cal/g}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_x = F_8 * C_{p_x} * (T_f - T_i) \quad \text{Ec. 6}$$

$$Q_x = 100,1 * 0,819 * (90 - 25) = 5.328,82 \text{ Cal}$$

Reemplazando datos en la ecuación 1 tenemos:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Absorbido}} &= 33.102 + 4.095 + 39.000 + 5.328,82 \\ &= 81.525,82 \text{ Cal} \end{aligned}$$

4.4.3.2. Hidrólisis Ácida

La finalidad de la hidrólisis consiste en romper las macromoléculas mediante la interacción entre el ácido clorhídrico, tiempo y temperatura.

Tabla IV 15 Datos Hidrolisis

Datos	Valor	Unidad	Bibliografía
Temperatura de operación final (Tf)	80	°C	Propio, medido
Temperatura ambiente (Ti)	25	°C	Propio, medido
Masa del vidrio (recipiente) (M _{vi})	315	g	Propio, medido
Calor específico del vidrio (Cp _{vi})	0,2	Cal/g*°C	Cengel 7 ^{ma} edición
Masa del agua potable (F ₁₂)	600	G	Propio, medido
Calor específico del agua potable (Cp _A)	1	Cal/g*°C	Cengel 7 ^{ma} edición
Masa del albedo (F ₁₁)	232,5	G	Propio, medido
Calor específico del albedo (Cp _x)	0,819	Cal/g*°C	Calculado
Masa de agua evaporada (F ₁₄)	98,8	G	Propio, generado del balance de materia
Calor latente del agua a 90 °C (λ _{agua})	540	Cal/g	Cengel 7 ^{ma} edición
Masa del ácido clorhídrico 25 % F ₁₃	4,48	G	Dato propio
Calor específico del ácido clorhídrico (Cp _{cl})		-	Cengel 7 ^{ma} edición
Tiempo de operación (top)	80	Min	Medido

Fuente: Elaboración propia, 2022.

El balance general de energía viene dado de la siguiente forma:

Q entregado= Q absorbido

$$Q_{\text{absorbido}} = Q_v + Q_{vi} + Q_a + Q_x + Q_{cl} \quad \text{Ec. 7}$$

Q_v = Calor latente para evaporar el agua de la solución.

Q_{vi} = Calor sensible del vidrio.

Q_a = Calor sensible del agua

Q_x = Calor sensible del albedo

Q_{cl} = Calor sensible del ácido clorhídrico

$$Q_v = F_{15} * \lambda_{\text{agua}} \quad \text{Ec. 8}$$

$$Q_v = 98,8 * 540 = 53.352 \text{ Cal}$$

$$Q_{vi} = M_{vi} * C_{p_{vi}} * (T_f - T_i) \quad \text{Ec. 9}$$

$$Q_{vi} = 315 * 0,2 * (80 - 25) = 3.465 \text{ Cal}$$

$$Q_a = F_{13} * C_{p_a} * (T_f - T_i) \quad \text{Ec.10}$$

$$Q_a = 600 * 1 * (80 - 25) = 33.000 \text{ Cal}$$

$$Q_x = F_{12} * C_{p_x} * (T_f - T_i) \quad \text{Ec.11}$$

$$Q_x = 232,5 * 0,819 * (80 - 25) = 10 472,96 \text{ Cal}$$

$$Q_{cl} = F_{14} * C_{p_{cl}} * (T_f - T_i) \quad \text{Ec.12}$$

La siguiente ecuación nos permitirá encontrar la capacidad calorífica del ácido clorhídrico (Cengel, 2012)

$$C_{p_{cl}} = a + b * T + c * T^2 + d * T^3$$

a,b,c y d son las constantes del HCl obtenidas de la tabla A-2 (Cengel, 2012)

Datos: HCl $a = 29,13$; $b = -0,1341/10^2$; $c = 0,9715 /10^5$; $d = -4,335/10^9$

$$C_{p_{cl}} = 29,13 - \frac{0,1341}{10^2} * 80 \text{ } ^\circ\text{C} + \frac{0,9715}{10^5} * 80^2 \text{ } ^\circ\text{C} - \frac{4,335}{10^9} * 80^3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{cl}} = 29,083 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot ^\circ\text{C}} \right] * \left[\frac{1}{36,5} \right] = 0,7968 \left[\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right] * \left[\frac{1}{4,186} \right] = 0,1903 \left[\frac{\text{Cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \right]$$

Reemplazando datos en la ecuación 12 tenemos:

$$Q_{cl} = 4,48 * 0,1903 * (80 - 25) = 46,89 \text{ Cal}$$

Reemplazando datos en la ecuación 7 tenemos:

$$Q_{\text{Absorbido}} = 53.352 + 3.465 + 33.000 + 3.294,63 + 46,89 = 93.158,52 \text{ Cal}$$

4.4.3.3. Filtración:

En esta etapa se separa la solución hidrolizada del bagazo, que se realiza empleando una bomba de vacío conectado a un Kitasato con un embudo Büchner por un lapso de 2 h.

$$\text{Tiempo} = t = 2 \text{ h}$$

$$\text{Potencia de la bomba de vacío} = \mathbf{PBomba} = 0,23 \text{ kW}$$

$$\text{Energía de la bomba de vacío} = \mathbf{EBomba}$$

$$\mathbf{EBomba} = \mathbf{PBomba} * t$$

$$\mathbf{EBomba} = 0,23 \text{ kW} * 2 \text{ h}$$

$$\mathbf{EBomba} = 0,460 \text{ kWh}$$

La energía consumida en la etapa de filtración en kJ es de:

$$\mathbf{EBomba} = 0,46 \text{ kWh} * 3.600 \text{ kJ} / 1 \text{ kWh}$$

$$\mathbf{EBomba} = 1.656 \text{ kJ} * 1 \text{ kcal} / 4.184 \text{ kJ}$$

$$\mathbf{EBomba} = 0,395793 \text{ kcal} * 1.000 \text{ cal} / 1 \text{ kcal} = 395,793 \text{ cal}$$

4.4.3.4. Etapa de secado:

Esta etapa se realiza en el secador de bandeja a una temperatura de 50 °C por un lapso de 12 h, hasta obtener un peso constante de la pectina.

$$\text{Tiempo} = t = 12 \text{ h}$$

$$\text{Potencia del secador de bandeja} = \mathbf{P_{\text{Secador}}} = 2 \text{ kW}$$

$$\text{Energía del secador de bandeja} = \mathbf{E_{\text{Secador}}}$$

$$\mathbf{E_{\text{Secador}}} = \mathbf{P_{\text{Secador}}} * t$$

$$\mathbf{E_{\text{Secador}}} = 2 \text{ kW} * 12 \text{ h}$$

$$\mathbf{E_{\text{Secador}}} = 24 \text{ kW h}$$

La energía consumida en la etapa de secado en kJ es de:

$$\mathbf{E_{\text{Secador}}} = 24 \text{ kWh} * 3.600 \text{ kJ} / 1 \text{ kWh}$$

$$\mathbf{E_{\text{Secador}}} = 86.400 \text{ kJ} * 1 \text{ kcal} / 4.184 \text{ kJ}$$

$$\mathbf{E_{\text{Bomba}}} = 20,6501 \text{ kcal} * 1.000 \text{ cal} / 1 \text{ kcal} = 20.650,1 \text{ cal}$$

4.4.4. RENDIMIENTO DEL PROCESO PRODUCTIVO

Se calcula el rendimiento del proceso de obtención de pectina a partir de cáscara de mandarina en base a la cantidad de cáscara utilizada para la extracción y la cantidad de pectina obtenida como producto final.

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{m pectina}}{\text{m cascara}} \times 100$$

Donde:

m pectina = 6,373 g

m cáscara = 100 g

Rendimiento = 6,373 %

Tabla IV 16 Tabla comparativa del rendimiento de la pectina extraída con otros autores

Pectina extraída	Pectina por Benítez Hugo	Pectina por Muñoz Pablo
6,373 %	3,320 %	1,15 %

Fuente: Elaboración propia, 2022.

La pectina extraída presenta un valor de rendimiento mayor a los valores obtenidos por ambos autores, en el proyecto de Benítez Hugo la pectina fue extraída a partir de la cáscara de limón en condiciones de operación de pH 1,5, temperatura de hidrolisis 80°C y tiempo de 60 min que uso como agente extractor ácido clorhídrico.

Muñoz Pablo obtuvo pectina a partir de la cáscara de plátano con los parámetros de pH 1,5, temperatura 70°C y tiempo de 50 min, utilizó como agente extractor ácido cítrico, como podemos observar no solo la variación de materias primas influye en el rendimiento si no también sus condiciones de operación y el agente extractor que se decida utilizar.

4.5. RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL DISEÑO FACTORIAL

El cálculo de los datos estadísticos descriptivos que se reflejan en los cuadros, se realiza con la ayuda del programa estadísticos minitab, que es una aplicación que permite integrar todas las fases en cuanto al análisis de datos, con la finalidad de obtener resultados confiables como respuesta.

Con este programa se puede corroborar si los datos de laboratorio coinciden con los datos corregidos por el programa.

4.5.1. Análisis de Varianza Univariante

Tabla IV 17 Factores Inter sujetos

N° de Experimento	A	B	R
1	-1	-1	3,640
2	1	-1	1,915
3	-1	+1	5,595
4	1	+1	2,691

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En la Tabla IV.17 se muestran los factores Inter sujetos de 4 experimentos, los que son insertados en el programa para que puedan corregir los datos y conocer cuáles son las variables y combinaciones significativas de las variables que se consideran en esta investigación. También se conoce el grado de error de las mismas.

4.5.1.1. Pruebas de los efectos Inter sujetos

En la Tabla IV.18, se muestran los resultados de las pruebas Inter sujetos evaluados en el programa estadístico.

Tabla IV 18 Análisis de varianza (ANOVA) variable respuesta rendimiento

Fuente	G.L.	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	3	5,17948	0,73993	37,6	0
Lineal	2	4,7747	1,59157	80,88	0
pH	1	4,001	4,001	203,32	0
Tiempo	1	0,10907	0,10907	5,54	0,046
pH*tiempo	1	0,31332	0,31332	15,92	0,004
Error	3	0,15742	0,01968		
Total	6	5,33691			

Fuente: Minitab 19, 2022.

La Tabla IV.18 del análisis de varianza (ANOVA) reparte la variabilidad de la respuesta rendimiento en segmentos separados para cada uno de los efectos, luego prueba la significancia estadística de cada efecto por comparación de la media cuadrada contra una estimación del error experimental.

Los valores P de los factores e interacciones obtenidos de las combinaciones de los parámetros de la Tabla IV.18 son inferiores al valor P 0,05 (valor de significancia) mismos que indican que estos factores e interacciones son muy influyentes al obtener pectina a partir de la cáscara de mandarina.

Se puede observar que el modelo tiene una significancia de P 0,000 lo cual indica que es el modelo correcto para el diseño factorial.

Tabla IV 19 Resumen del modelo variable respuesta rendimiento

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,140387	96,01 %	92,43 %	86,25 %

Fuente: Minitab 19, 2022.

4.6. DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACION APLICADA

Para determinar el costo de la investigación se realiza la evaluación de costos y gastos que se presentan durante la elaboración de todo el proyecto.

Las siguientes tablas muestran los detalles de los costos directos e indirectos.

Tabla IV 20 Costo de reactivos

Nº	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO (Bs)
1	Reactivos para el proceso	Ácido clorhídrico 25%	MI	100	50
2		Etanol al 96%	L	8	80
3	Reactivos para análisis	Hidróxido de sodio 0.1 N	MI	100	5
4		Hidróxido de sodio 0.25 N	MI	100	12
5		Ácido clorhídrico 0.25 N	MI	100	5
6		Sacarosa	Kg	1	5
TOTAL					160

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Tabla IV 21 Costos de análisis fisicoquímico de la materia prima y el producto

N°	ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO (Bs)
1	Materia prima	Acidez	1	12
2		Ceniza	1	28
3		Fibra	1	40
4		Grasa	1	36
5		Hidratos de carbono	1	4
6		Humedad	1	16
7		Proteína total	1	40
8		pH (20 °C)	1	6
9		Solidos solubles	1	8
10		Valor energético	1	4
11	Producto obtenido	Acidez	1	12
12		Ceniza	1	28
13		Humedad	1	16
14		pH (20 °C)	1	8
TOTAL				258

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Tabla IV 22 Costos de servicios y materiales directos e indirectos

N°	ACTIVIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (Bs)	CANTIDAD	COSTO (Bs)
1	Investigación en Internet	Mes	160	5	800
2	Impresión	Frasco de Tinta	60	4	240
3	Anillados	Anillado	4	12	48
4	Empastados	Empastado	50	4	200
5	Transporte diario	Pasaje	5	50	250
6	Mano de obra	Dia	120	60	7.200
Total					8.738

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Tabla IV 23 Costos totales

N°	DESCRIPCION	TOTAL (Bs)
1	Costos de reactivos	160
2	Costos de análisis fisicoquímico	258
3	Costo de servicios y materiales directos e indirectos	8.738
Total		9.156

Fuente: Elaboración propia, 2022.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se logra caracterizar la materia prima a través de la determinación de sus propiedades fisicoquímicas mediante un análisis fisicoquímico realizado por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID.
- De acuerdo al diseño factorial previamente elaborado con las variables identificadas como ser pH, tiempo de hidrólisis, concentración de etanol y tiempo de precipitación, se ejecutó la fase experimental para la obtención de pectina, determinando sus parámetros óptimos para el proceso: pH de 1,5, tiempo de hidrólisis de 80 minutos, concentración de etanol al 96% y tiempo de precipitación de 15 horas.
- La pectina obtenida a las condiciones óptimas tiene un rendimiento definitivo de 6,373 % p/p. Este valor comparativamente es superior al obtenido por Benítez H., (2021) que presento un rendimiento del 3,320 % mpectina/mcáscara de limon y Muñoz P., (2016) presento un rendimiento del 1,15 % mpectina/mcáscara de plátano en la extracción de pectina por el método de hidrólisis ácida utilizando ácido cítrico.
- La caracterización del producto se realiza a través de sus parámetros físico-químicos: acidez libre, peso equivalente, grado de esterificación, porcentaje de metoxilo, porcentaje de ácido galacturónico anhidro, grado de gelificación, acidez como ácido cítrico, humedad cenizas y pH, evidenciando que la pectina obtenida a partir de la cáscara de mandarina es de alto metoxilo, de pureza aceptable y de buena calidad.
- Tal como se propone en el presente trabajo de investigación aplicada se logra obtener pectina a partir de cáscara de mandarina por el método de hidrólisis ácida convencional utilizando HCl al 0,25%, con el que se obtuvo un rendimiento del 6,373 %.

La pectina extraída presenta un grado de esterificación o de metoxilación de 84,577 %, obteniéndose pectina de alto metoxilo.

5.2. RECOMENDACIONES

- En la etapa de separación del albedo se recomienda separar completamente el flavedo del albedo ya que pequeñas partes de flavedo influyen en el color amarillento de la pectina obtenida.
- Realizar la prefiltración para eliminar cualquier partícula de gran tamaño logrando agilizar el proceso de filtración para evitar la contaminación de bacterias mesófilas aerobias viables en la solución de la pectina.
- Para neutralizar el pardeamiento de pectina por oxidación y minimizar la pérdida de las vitaminas A y C emplear la acidificación, es decir sumergir la pectina en una solución acida.
- Para los análisis de: peso equivalente, acidez libre, grado de esterificación, contenido de metoxilo y ácido anhídrido galacturónico, se debe tener en cuenta el cuidado en la titulación con referencia a la cantidad de NaOH requerida para titular la solución, debido a que errores en este análisis podrían afectar de manera significativa en los resultados.
- Es importante tener en cuenta que el proceso debe aplicarse en la época en que sale la fruta de mandarina por que se observa gran abundancia de variedades y cascaras más tersas o jóvenes para extraer mejor el albedo.