

PROPUESTA DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE PECTINA PARTIENDO DE LA
CÁSCARA DE GULUPA A ESCALA PILOTO

JOSE DAVID GARCIA GUZMAN
KAROL TATIANA MORA LOPEZ

Proyecto integral de grado para optar por el título de
Ingeniero químico

Director
NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA
Ingeniera Química.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2021

Nota De Aceptación

Bogotá D.C, Febrero 2021

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dr. MARÍA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingeniería

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería Química

Ing. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA

Dedico este trabajo de grado principalmente a los miembros de mi familia que siempre me han apoyado, en especial a mis padres, mis tíos y tías, mis abuelos y finalmente a mi novia, gracias a todos ellos por inspirarme a ser cada día mejor y no abandonar mis sueños.

José David García Guzmán

En primera instancia dedico este trabajo de grado a
mis padres quienes siempre me han apoyado
en mi proceso de formación profesional.

A mi hermano por sus consejos y quien siempre me
brindo la mano para salir adelante en cada
dificultad puesta en el camino.

A mis abuelos maternos, Apolinar y Flor Alba, por
siempre enriquecerme con su sabiduría y ejemplo
de seguir adelante en los obstáculos de la vida.

A mi tía, Olga Lucia, quien es un ejemplo a seguir
y me inculco la responsabilidad, dedicación
y amor en lo que realizo en mi día a día.

A mi novio que estuvo desde el principio de este
proyecto dándome ánimos en los momentos de
caídas y apoyándome para conseguir mis metas.

Finalmente, a todos mis amigos, quienes han estado
conmigo durante este proceso y han crecido
junto a mi profesionalmente.

Karol Tatiana Mora Lopez

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres por darnos su amor, paciencia y confianza para seguir adelante en cada paso de nuestra trayectoria como profesionales, por brindarnos la luz en situaciones complicadas, el coraje para superar ocasiones dificultosas y la esperanza en los malos momentos.

A nuestra directora la Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina por depositar su confianza en la realización de este proyecto de grado, su tiempo dedicado en el mismo y su orientación hacia el camino de la investigación y consejos los cuales nos han formado como estudiantes y profesionales éticos.

A nuestro orientador el Ing. Harvey Andrés Milquez Sanabria, quien con su profesionalismo y dedicación nos guío en las correcciones durante la ejecución del trabajo de grado, para así completarlo satisfactoriamente.

A los educadores que han sido parte de nuestra formación profesional, quienes gracias a su paciencia, esfuerzo y perseverancia nos han enseñado cada valor integro en nuestras vidas y han dejado una huella para la eternidad.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCION	16
OBJETIVOS	18
1. GENERALIDADES	19
1.1. Generalidades Passifloras	19
1.2. Generalidades de la gulupa	21
1.2.1. Taxonomía de la gulupa	25
1.2.2. Clasificación de las sustancias pécticas	28
1.3. Generalidades de la pectina	29
1.3.1. Clasificación según grado de esterificación	29
1.3.2. Pectina en Colombia	30
2. PRETRATAMIENTOS	32
2.1. Lavado	32
2.2. Escaldado	33
2.3. Secado y reducción de tamaño	33
3. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN	38
3.1. Hidrólisis ácida	38
3.2. Hidrólisis enzimática	42
3.3. Hidrólisis ácida asistida con ultrasonido	45
3.4. Hidrólisis ácida asistida con microondas	49
3.5. Hidrólisis ácida asistida con ultrasonido-microondas (UMAE)	55

4. PLANTA PILOTO	64
4.1. Descripción del proceso	64
4.2. Reactor y tiempo de retención por equipo	66
4.3. Balance de materia	69
4.3.1. Recepción de materia prima, lavado y escaldado	69
4.3.2. Trituración, secado 1 y molienda 1	70
4.3.3. Mezcla con medio ácido cítrico	71
4.3.4. Ultrasonido y microondas	71
4.3.5. Filtraciones y precipitación	72
4.3.6. Lavado 2, secado 2, molienda 2 y empaque	73
4.3.7. Resumen balance de materia	74
4.4. Equipos	76
4.4.1. Marmita	76
4.4.2. Licuadora industrial	77
4.4.3. Horno	77
4.4.4. Reactor	79
4.4.5. Filtro prensa	80
4.4.6. Equipo de Ultrasonido	81
4.4.7. Equipo de Microondas	82
4.4.8. Empacadora	83
4.5. Estimación Del consumo de Energía	84
5. COSTOS DE LA PLANTA PILOTO	86
5.1. Inversión inicial	86
5.2. Costo De Operación	87
5.3. Costo total	89
6. CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFIA	92

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Frutos de Passiflora	19
Figura 2. Semillas de la Passiflora	20
Figura 3. Produccion total de gulupa en el pais	22
Figura 4. Cantidad total de hectareas sembradas de gulupa en el pais	23
Figura 5. Tabla de color de frutos de gulupa	27
Figura 6. Condiciones de pH que favorecen la actividad enzimatica	43
Figura 7. Porcentajes de rendimientos de pectina de los tratamientos US	46
Figura 8. Porcentajes de rendimientos de pectina a diferentes valores de potencia, tiempo de irradiacion y pH	47
Figura 9. Porcentajes de rendimientos de pectina con diferentes metodos y temperaturas	49
Figura 10. Esquema del equipo utilizado para la extraccion de pectina asistida por microondas	52
Figura 11. Rendimiento en pectina (%p/p) a diferentes tiempos de extraccion	54
Figura 12. Comparacion de rendimiento, grado de esterificacion y ácido galacturonico con diferentes metodos	56
Figura 13. Comparacion de comportamiento energetico con diferentes metodos	57
Figura 14. Diagrama de bloques del proceso de obtencion de pectina a partir de cáscara de gulupa	66
Figura 15. Balance de materia	69
Figura 16. Balance de materia	70
Figura 17. Balance de materia	71
Figura 18. Balance de materia	72

Figura 19. Balance de materia	73
Figura 20. Balance de materia	74
Figura 21. Marmita volcable MV100	76
Figura 22. Licuadora industrial Exhibir Equipos	77
Figura 23. Horno secador FCS150-01	78
Figura 24. Molino de martillos Granulex DFZP	79
Figura 25. Reactor batch con agitacion	80
Figura 26. Filtro prensa	81
Figura 27. Extractor ultrasonico marca TOPTION	82
Figura 28. Sistema de extraccion asistido con microondas	83
Figura 29. Empacadora Sunchon	84

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Lista de especies por genero y subgénero de la familia Passifloraceae en Colombia	21
Tabla 2. Produccion de gulupa por departamentos	24
Tabla 3. Composición bromatológica del fruto de gulupa	26
Tabla 4. Composición fisica del fruto de gulupa	26
Tabla 5. Determinación de los estados de madurez de la gulupa según el color de la cáscara	28
Tabla 6. Tipos de pectina HM y respectivas características	30
Tabla 7. Importadores en kilogramos para el 2010	31
Tabla 8. Proyeccion de importaciones de pectina en Colombia	31
Tabla 9. Rendimiento y composición de pectinas obtenidas por diferentes metodos de secado	35
Tabla 10. Rendimiento de extraccion con diferentes pH, tiempos de extraccion y relacion liquido-solido	39
Tabla 11. Rendimiento de extraccion diferentes medios	40
Tabla 12. Diseño experimental para la operación de hidrólisis asistida por microondas	50
Tabla 13. Comparacion del rendimiento y la calidad de los metodos HMO y convencional	51
Tabla 14. Rendimientos de la extraccion de pectina mediante la variacion de concentracion de HCL, potencia y tiempo	53
Tabla 15. Rendimiento, grado de esterificacion y porcentaje de ácido galacturonico con diferentes metodos	58
Tabla 16. Rendimiento con diferentes métodos	59
Tabla 17. Peso de cada criterio	61
Tabla 18. Metodo PUGH para la selección del metodo de extraccion	62

Tabla 19. Selección tiempo de extraccion	68
Tabla 20. Tiempos de retencion del proceso	68
Tabla 21. Resumen balance de materia	75
Tabla 22. Consumo energetico por máquina	85
Tabla 23. Precio de los equipos	86
Tabla 24. Dimensiones de los equipos	87
Tabla 25. Salario basico por operario	88
Tabla 26. Seguridad social y prestaciones	88
Tabla 27. Total a pagar por nomina	88
Tabla 28. Costos insumos iniciales	89
Tabla 29. Costo total	90
Tabla 30. Precio de venta	90

RESUMEN

En este trabajo de grado se realiza la propuesta para la producción de pectina a partir de la cáscara de gulupa, para ello se seleccionaron los pretratamientos de lavado con agua fría, escaldado por 10 minutos a 90°C, secado por horno y reducción de tamaño por medio de una licuadora industrial. El método de extracción que se propone es el de extracción asistida por microondas y ultrasonido (UMAE por sus siglas en inglés), para el equipo de ultrasonido se utilizará una frecuencia de 40 kHz durante 20 minutos y el equipo de microondas manejará una frecuencia de 2450 Hz durante 10 minutos, condiciones definidas con base en la revisión bibliográfica y que se reportan como de mayor rendimiento. La inversión inicial estimada es de \$170297389 COP para una planta a escala piloto que procesaría 35 kilogramos de cáscara por lote lo que representa una producción de 3,6 kilogramos de pectina. Las aplicaciones de este aditivo se encuentran en la industria alimentaria para la producción de mermeladas, jugos, jaleas, néctares de frutas, entre otros. Finalmente, se plantea que el método de extracción seleccionado busca el uso de tecnologías limpias, evitando la utilización de insumos ácidos como en el método convencional, y así reducir los impactos ambientales, adicionalmente se reduce significativamente el tiempo de extracción.

PALABRAS CLAVE: Cáscara de gulupa, pectina, residuos agroindustriales y extracción UMAE.

INTRODUCCIÓN

“En Colombia, en el procesamiento para obtención de pulpas de diferentes frutas, se producen alrededor de 71943813 toneladas/año de residuos que en la mayoría de los casos son incinerados o llevados a rellenos sanitarios” [1]. Debido a que esta es una cifra considerable, es de suma importancia encontrar una solución para disminuir estos desperdicios y su costo de disposición. Estos residuos tienen gran potencial asociado a los productos de valor agregado que se pueden generar a partir de este subproducto, por ejemplo, para la extracción de colorantes, de aceites o de macromoléculas como la pectina.

De las cáscaras de pasifloras se pueden extraer pectinas, en este proyecto se trabajará con la gulupa, en el país se cultivaron cerca de 24799 toneladas en el 2018 exportando principalmente hacia la Unión Europea y como de su estructura contiene entre el 46 y 52% de cáscara, se convierte en materia prima para la pectina, la cual es un insumo químico que tiene alta demanda en el sector alimenticio por sus propiedades como estabilizante y facilidad de formación de geles, algunos de sus usos son mermeladas, jaleas, confituras, repostería, entre otros. “En Colombia no existe ninguna empresa productora de esta sustancia, conllevando a importar toda la cantidad necesaria para suplir la demanda conllevando a precios de venta elevados y dependencia a otros países para la industria colombiana” [2]

Con base en lo anterior se puede considerar la cáscara de gulupa como una materia prima para la extracción de pectina, ocasionando una disminución en la cantidad de residuos dispuestos en los rellenos, mientras que se convierten en alternativa de producción de pectina lo que podría reducir los costos del insumo y dependencia de países exportadores del mismo.

En el capítulo 1 se presentan las generalidades de las *Passifloras* y de la gulupa, mencionando la producción nacional del fruto donde se identifica los principales departamentos productores, la cantidad producida por año y cuantos residuos se generan estableciendo el potencial para la pectina. Adicionalmente se presentan las características de la pectina, sus aplicaciones y la cantidad de importaciones en el país, así como su valor en el mercado.

En el segundo capítulo se resumen los pretratamientos, describiendo procesos a los cuales se somete la cáscara de gulupa, entre ellos el lavado, escaldado, diferentes tipos de secado y la

reducción de tamaño. Se definió que en el proceso propuesto se realizará lavado con agua fría, escaldado, secado en horno y reducción de tamaño en una licuadora industrial.

Por otra parte, en el tercer capítulo se describen diferentes tipos de extracción, como son: hidrólisis ácida, enzimática, asistida por ultrasonido, asistida por microondas y UMAE. Se estableció por medio de una matriz PUGH que el mejor método para realizar el proceso es el UMAE, los criterios considerados para la selección fueron rendimiento, tiempo de extracción, insumos adicionales, energía y tecnología.

En el cuarto capítulo se realiza la descripción del proceso a nivel de planta piloto, identificando las respectivas condiciones de operación y el equipó a utilizar en cada una de las operaciones del proceso. Adicionalmente, se desarrolla el balance de materia y se estima el consumo de energía para el proceso. Se definió que la planta trabajará por lotes y cada lote será de 35 kilogramos de cáscara de gulupa.

Finalmente, en el capítulo cinco se hace el estimativo de los costos encontrando que para procesar 35 kilogramos de cáscara de gulupa la inversión inicial sería de 168657566 COP y el costo de operación por lote es de 10775819 COP. Con este proyecto se evidencia el potencial de aprovechar este residuo agroindustrial en la producción de la pectina, para posterior uso en la industria alimentaria, adicionalmente se destaca que el método propuesto no usa ácidos y por tanto es considerado como tecnología limpia.

OBJETIVOS

Objetivo General

Propuesta del proceso para la obtención de pectina partiendo de la cáscara de gulupa a escala piloto.

Objetivos Específicos

- Proponer el pretratamiento aplicable para los frutos del género passiflora que conduzca al mayor rendimiento de extracción de pectina.
- Identificar los métodos de extracción de pectina partiendo de los frutos del género passiflora.
- Definir las especificaciones técnicas del proceso de obtención de pectina de la cáscara de gulupa a escala piloto.
- Establecer los costos del proceso para la obtención de pectina partiendo de la cáscara de gulupa a escala piloto.

1. GENERALIDADES

1.1. Generalidades *Passifloras*

“La familia *Passifloraceae* cuenta con 18 géneros y alrededor de 630 especies distribuidas por medio del neotrópico, estas plantas constan de características particulares como sus hojas simples y alternas, son raramente arbustivas y se componen de lianas leñosas y herbáceas” [3]. Es así como el género *Passiflora* aproximadamente con 520 especies es el más importante de la familia, con especies de beneficio económico debido a sus frutos, sus usos ornamentales y farmacéuticos. [3]

Por otro lado, «el género *Passiflora* cuenta con 42 especies con fruto comestible de las cuales nueve son importantes en mercados nacionales e internacionales, en la figura 1 se ilustran estas especies entre las que se encuentra: el maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.), la gulupa (*P. edulis* f. *edulis* Sims), la curuba (*P. mollisima* Just) y la granadilla (*P. ligularis*), estos productos representan las especies con mayor interés económico.» [3]

Figura 1.
Frutos de passiflora.



Nota. La figura referencia los diferentes frutos comestibles del género *Passiflora*. Tomado de: Revista De Investigación Agraria Y Ambiental, *Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies*.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1266>

«Los frutos de la *Passiflora* se caracterizan por ser bayas de color amarillo con olor y sabor agradable, son frutos que no se agrietan espontáneamente al llegar al punto de su madurez para liberar sus semillas y cuentan con un pericarpio delgado y membranoso, es decir la parte exterior del fruto de las plantas que envuelve las semillas que son cubiertas por un arilo de textura gelatinosa y en cantidad variable dependiendo su especie.» [4]

«En cuanto a su forma dicho frutos pueden ser globosos, ovalados, esféricos, elípticos ovoides o piriformes, también cuentan con numerosas cantidades de semillas que son identificados por ser aplanadas, con testa dura y ornamentada, como se observa en la figura 2, su forma varía (ovalada, obovada o obcordada) y su coloración es oscura cuando se encuentran en el proceso de maduración, es así como en su interior se encuentran el endospermo blanquecino, aceites y almidones que alimentan el embrión hasta llegar a la etapa de inicio para la germinación.» [4]

Figura 2.
Semillas de la Passiflora.



Nota. La figura representa las diferentes semillas que se encuentran en los frutos del grupo *Passiflora*. Tomado de: Revista De Investigación Agraria Y Ambiental, *Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies*. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1266>

«Colombia es el segundo país con mayor diversidad del género *Passifloraceae* las cuales incluyen 153 especies en donde, 149 son nativas y se presentan 26 especies nuevas de este género como se muestra en la tabla 1. Al interior de Colombia la mayor diversidad de *Passifloras* se encuentra en la región andina con 81% de las especies, particularmente en los bosques de las cuencas hidrográficas entre 100 y 2000 msnm en los departamentos de Cundinamarca, Antioquia, Valle de Cauca, Caldas, Risaralda y Quindío, generando un amplio consumo y comercialización en los frutos de maracuyá (*P. edulis* f. *flavicarpa* O. Deg.), la gulupa (*P. edulis*

f. edulis Sims), la curuba (*P. mollissima Just*) y la granadilla (*P. ligularis*), incluyéndose en la “Apuesta exportadora Agropecuaria” de Colombia.» [3]

Tabla 1.

Lista de especies por género y subgénero de la familia Passifloraceae en Colombia.

Género / Subgénero	Colombia
<i>Ancistrothyrsus</i>	1
<i>Dilkea</i>	3
<i>Passiflora</i>	149
<i>Astrophea</i>	14
<i>Distephana</i>	4
<i>Dysosmia</i>	1
<i>Manicata</i>	1
<i>Murucuja</i>	1
<i>Passiflora</i>	43
<i>Decaloba</i>	50
<i>Psilanthus</i>	3
<i>Rathea</i>	1
<i>Tacsonia</i>	26
<i>Tacsoniopsis</i>	1
<i>Tryphostemmatoides</i>	4

Nota. Cantidad de diversidad del género *Passiflora* en Colombia Tomado de: *Diversity of Colombian Passifloraceae biogeography and an update list for conservation.*
<http://Www.Redalyc.Org/Articulo.Oa?Id=49180101>

El inventario por departamento evidencia que Antioquia y Valle del Cauca son los departamentos de mayor riqueza de Passifloraceae tanto para Colombia como para la zona cafetera, con 70 y 63 especies respectivamente, es decir la mayor riqueza de especies se encuentra en la Cordillera Central. “En los departamentos de la Amazonía y la Orinoquía se registra menor ocurrencia, con menos de cinco especies inventariadas, cifras muy bajas que se deben en buena parte a una falta de exploración botánica.” [3]

1.2. Generalidades de la gulupa

“La gulupa (*Passiflora edulis Sims*), originaria de América del sur específicamente de Brasil, desde donde fue ampliamente distribuida en el siglo XIX a otros países del continente, Asia, el Caribe, África, India y Australia.” [5]

“Para que el cultivo de gulupa se desarrolle óptimamente son necesarias ciertas condiciones, como: Temperatura entre 15 y 20 °C, altura sobre el nivel del mar de 1800 a 2400 m.s.n.m., humedad relativa del 70 a 80 %, pH desde 6.5 hasta 7.5 y suelos con texturas livianas, buen drenaje y una profundidad efectiva entre 60 y 80 cm.” [5]

«En los últimos 10 años la producción de gulupa en el territorio nacional ha aumentado 335%, asimismo las hectáreas sembradas han crecido exponencialmente. Este auge en la producción se debe a los tratados de cooperación con la Unión Europea y el establecimiento de relaciones comerciales. Adicionalmente se resalta el fomento del Ministerio de Agricultura y las políticas del posconflicto que permitió aumentar la producción regional»[6]. Así como se demuestra en las figuras 3 y 4.

Figura 3.
Producción total de gulupa en el país



Nota. Producción total de gulupa en Colombia hasta el año 2018. Tomado de: Agronegocios, *La exportación de gulupa superó las 8.109 toneladas y 2.013 hectáreas sembradas.*
<https://www.agronegocios.co/agricultura/la-exportacion-de-gulupa-supero-las-8109-toneladas-2881324>

Figura 4.

Cantidad total de hectáreas sembradas de gulupa en el país



Nota. Cantidad de hectáreas sembradas en Colombia de gulupa hasta el año 2018. Tomado de: Agronegocios, *La exportación de gulupa superó las 8.109 toneladas y 2.013 hectáreas sembradas.* <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-exportacion-de-gulupa-supero-las-8109-toneladas-2881324>

«En el año 2018 la producción colombiana de Gulupa alcanzó las 24799 toneladas, los departamentos con mayor producción son Antioquia (13161 toneladas), Cundinamarca (2536 toneladas), Boyacá (2922 toneladas), Tolima (1970 toneladas) y Santander (15070 toneladas);

Por lo tanto, la mayor cantidad de residuos de este fruto se generan en los departamentos de Antioquia, Boyacá y Cundinamarca. Estos datos se encuentran reflejados en la tabla 2 junto con los de otros departamentos menos productores de este fruto.» [6]

Tabla 2.
Producción de gulupa por departamentos.

Cifras en toneladas	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Antioquia	1.394	2.324	2.788	10.000	10.716	12.228	13.161
Boyacá	1.313	852	539	462	492	1.674	2.922
Cundinamarca	3.199	1.815	1.763	2.221	1.547	2.025	2.536
Tolima	890	585	2.240	4.228	1.534	1.152	1.970
Santander	156	187	254	300	566	1.006	1.570
Cauca	—	—	63	126	450	764	1.109
Caldas	—	—	—	—	6	317	357
Quindío	—	—	—	—	—	133	319
Huila	246	257	214	196	209	217	315
Risaralda	—	—	—	112	270	309	236
Norte Santander	—	160	324	146	102	190	230
Nariño	12	12	—	—	53	50	75
Valle	234	112	48	26	—	—	—

Nota. Representa la producción de gulupa por departamento en Colombia hasta el año 2018. Tomado de: Agronegocios, *La exportación de gulupa superó las 8.109 toneladas y 2.013 hectáreas sembradas.* <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-exportacion-de-gulupa-supero-las-8109-toneladas-2881324>

«La extracción y congelamiento de pulpa de gulupa es el principal producto de exportación, este mercado lo lidera Países bajos y Bélgica, al extraer solo la pulpa se generan residuos agroindustriales que son la materia prima para la extracción de pectinas. En los países europeos la demanda de pasifloras ha aumentado debido a las propiedades para reducir la presión arterial y disminuir problemas relacionados con el estrés.» [6]

«Una problemática importante de los cultivos de gulupa es su rendimiento, en promedio una hectárea de cultivo produce 14 toneladas de gulupa, expertos en el tema indican que es económicamente rentable si una hectárea produce 20 toneladas, esto debido a su largo tiempo de

germinación desde la siembra. Sin embargo, la ingeniera agrónoma Claudia Uribe que es experta en cultivos de gulupa indica que, si los procesos se tecnificaran y hubiera control ambiental con estándares internacionales, la producción por hectárea puede llegar a ser de 30 toneladas.» [6]

1.2.1. Taxonomía de la gulupa

- Reino: Vegetal
- División: *Angiosperma*
- Clase: *Dicotiledóneas*
- Subclase: *Archiclamydae*
- Orden: *parietales*
- Suborden: *Flacourtiineas*
- Familia: *passifloraceae*
- Género: *passiflora*
- Especie: *Edulis Sims*

«El fruto de gulupa son bayas que se obtienen de forma redonda a levemente oblonga, contienen diámetros que oscilan entre 0.04 a 0.08 metros y 0.06 a 0.08 metros de largo. Las semillas que se encuentran al interior de esta baya son ovaladas de color negro o violeta oscuro, tienen una longitud entre 4.8 a 6.00 milímetros por 3.1 a 4.0 milímetros de ancho y están constituidas de 18-20% de aceite en su interior.» [7]

“La gulupa es rica en agua, llegando a cerca del 90% en peso, además de ser una fuente de vitamina A, proteínas, carbohidratos, entre otros. Indicando que es un fruto rico en compuestos antioxidantes como se evidencia en la tabla 3.” [8]

Tabla 3.
Composición bromatológica del fruto de gulupa.

Componente	Pulpa (100 g)
Agua	88,9 g
Proteínas	1,5 g
Grasas	0,5 g
Carbohidratos	11,0 g
Fibra	0,4 g
Cenizas	0,7 g
Calcio	9,0 mg
Fósforo	21,0 mg
Hierro	1,7 mg
Riboflavina	0,17 mg
Tiamina	0,1 mg
Niacina	0,8 mg
Ácido ascórbico	20,0 mg
Vitamina A	1730 U.I
Calorías	49 cal.

Nota. Lista bromatológica de la pulpa de gulupa. Tomado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/8532/3/03_Cap01.pdf

Es importante resaltar el alto porcentaje en peso que ocupa la cáscara, ya que puede llegar a ser el 52% como se evidencia en la tabla 4, generando más desperdicio que producto aprovechado cuando el destino del fruto es extraer la pulpa y desechar lo demás.

Tabla 4.
Composición física del fruto de gulupa

Parte del fruto	Peso	Porcentaje en relación al fruto
Cáscara	21-28 g	46-52%
Pulpa	15-26 g	37-44%
Semillas	4-7 g	9-11%

Nota. Lista de partes del fruto y sus respectivos porcentajes en el fruto de gulupa. Tomado de: *Manual de manejo poscosecha de la gulupa (passiflora edulis sims)*; http://www.bdigital.unal.edu.co/8532/3/03_Cap01.pdf

“Su cáscara es lisa y firme en el exterior, contiene colores verdes claro a púrpura esto es debido a la presencia de Flavonoides, los cuales son distribuidos como pigmentos en la naturaleza. En esta

corteza se puede encontrar una cantidad desconocida de pectina que es uno de los constituyentes principales de la pared celular.” [9]

La madurez de una fruta tiene una influencia primordial [10] en la calidad y vida útil del almacenamiento, también afecta el manejo poscosecha, el transporte y el mercadeo. “Conociendo las mediciones de madurez, es un punto importante en la etapa de poscosecha, por ello si no se tiene en cuenta se puede generar una recolección demasiado temprana (frutos inmaduros) o tardía (frutos sobremaduros) que en general debe evitarse ya que puede causar baja calidad en el producto y traumatismos en la planta.”[10]

“Por ello se ha generado un reconocimiento óptimo de recolección, en donde se ha establecido una serie de indicadores denominados “Índices de madurez”, los cuales manifiestan el momento más adecuado para la recolección del fruto que determina la madurez mínima aceptable como se muestra a continuación en la figura 5 y tabla 5.”[10]

Figura 5.
Tabla de color de frutos de gulupa.



Nota. Coloración en la maduración del fruto de gulupa. Tomado de: Agronomía Colombiana, *Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (Passiflora edulis Sims.)*. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a10.pdf>

Tabla 5.
Determinación de los estados de madurez de la gulupa según el color de la cáscara.

Estado	Denominación por color	Porcentaje de color
0	Verde	100% verde.
1	Verde y púrpura	90% verde; 10% púrpura (translucida).
2	Verde púrpura	70-80% verde; 20-30% púrpura.
3	Verde púrpura	40-50% verde; 40-50% púrpura.
4	Fruto mas púrpura que verde	85-95% púrpura; 5-15% verde.
5	Púrpura	100% púrpura.
6	Púrpura (sobremaduro)	100% púrpura muy oscura, presencia de brillo y a veces arrugas.

Nota. Denominación por color y porcentaje de madurez del fruto de gulupa. Tomado de: Agronomía Colombiana, *Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (Passiflora edulis Sims.)*.
<http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a10.pdf>

1.2.2. Clasificación de las sustancias pécticas

Según la cantidad de grupos carboxílicos que se encuentran esterificados en la cadena o polímero se clasificó otorgando diferentes nombres:

- Protopectina: “se evidencia cuando todos los carboxilos están esterificados. Su principal característica es ser insoluble en agua y se hallan en mayor cantidad en los tejidos de los frutos no maduros o verdes, es decir que se encuentran en las primeras etapas de formación y maduración de los tejidos vegetales, los cuales se constituyen por azúcares parcialmente metilados, en particular por unidades de anhidro galacturónico enlazadas unas con otras.» [9]
- Pectinas: “son ácidos pectínicos los cuales tienen la capacidad de formar geles en presencia de suficientes ácidos, iones polivalentes o sólidos solubles, se caracterizan por ser solubles en agua caliente con un contenido medio de éster metílico.” [9]
- Ácidos pectínicos: “son ácidos poligalacturónicos coloidales con un contenido de metoxilo menor al 4%. Su principal característica es la formación de geles si las condiciones de sólidos solubles y pH son adecuadas, las sales de estos ácidos se llaman pectinatos.” [9]

- Ácidos pécticos: “son polímeros de alto peso molecular con contenido de ácido galacturónico que no poseen grupos carboxilos esterificados, reaccionan fácilmente con los iones calcio de las células para producir compuestos insolubles en los jugos de frutas, dando un precipitado visible en la separación de fases o abanderamiento en los néctares.” [9]

1.3. Generalidades de la pectina

“La pectina es un carbohidrato complejo cuya unidad estructural es el ácido anhidro galacturónico, que se puede encontrar como un producto natural que está presente en todos los vegetales, especialmente en las frutas, y es la responsable de su textura ya que se encuentra presente en la pared celular primaria.” [11]

La pectina está conformada por varios carbohidratos como lo son la ramnosa, la arabinosa y la galactosa.

1.3.1. Clasificación según grado de esterificación

La pectina se puede clasificar según diversos aspectos, uno de los más importantes es la cantidad de grupos carboxílicos esterificados, generando 3 clases: Pectinas de alto índice metoxilo HM (High metoxil), pectinas de bajo metoxilo LM (Low metoxil) y finalmente las pectinas amidicas [9]

□ Pectinas HM

“Las pectinas HM se caracterizan por tener más del 50% de los grupos carboxílicos esterificados, se usan especialmente para formar geles en productos con alto contenido de azúcares (confituras). A su vez, las pectinas HM se subdividen en tres clases, Rapid set, Medium rapid set y Slow set cuyas características se presentan en la tabla 6.” [9]

Tabla 6.

Tipos de pectina HM y respectivas características.

Tipo de pectina	Grupos carboxílicos Esterificados	T° C gelificacion	Tiempo gelificacion
Rapid set	>68%	Relativamente alta	Corto
Medium Rapid Set	>60% Y >68%	Media	Medio
Slow Set	>60%	Baja	Largo

Nota. Lista de los tipos de pectina según los grupos Carboxílicos Esterificados de la pectina. Universidad de la Salle, *Aprovechamiento De La Cascara De Gulupa Como Fuente De Pectina Para La Industria Alimentaria.* https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/53/

□ **Pectinas LM**

“Este tipo de pectinas tienen menos de 50% de grupos carboxílicos esterificados, se usan principalmente en mermeladas, jaleas y alimentos con bajo contenido de azúcar, adicionalmente estos alimentos son de pH alto, por encima de 3.4. La formación de geles con este tipo de pectinas es más complejo en comparación con las pectinas HM ya que es necesario la presencia de iones de calcio, esta cantidad de calcio varía según la cantidad de grupos esterificados presentes.” [11]

□ **Pectinas amidicas**

“Son aquellas que tienen un muy bajo índice de metilación además de alta capacidad de gelificación. Se obtienen mediante desmetilación en amoniaco y no en ácido.” [12]

1.3.2. Pectina en Colombia

“En el territorio nacional hasta el 2011 se reportaban 10 empresas importadoras de pectina donde la mayoría de pectina tenía como destino el departamento de Antioquia. En cuanto a distribución se reportan nueve empresas entre ellas Danisco Colombia, Distribuidora Córdoba, Quimifast y Bell chem” [13]. Los precios de venta varían entre 80000 y 200000 pesos colombianos por kilogramo, dependiendo de la clase de pectina y la empresa que la suministre.

«Generalmente los productos alimentarios que necesitan pectina son jugos y néctares de frutas, productos de repostería, jaleas y mermeladas, además de los yogures en el sector lácteo.

Debido a los usos anteriormente mencionados, la DIAN reportó que para el 2010 el mercado nacional de pectina fue de \$3847404 USD y \$7694808000 COP lo que indica un consumo de 436 toneladas anuales aproximadamente como se evidencia en la tabla 7.» [13]

Tabla 7.*Importadores de pectina en kilogramos para el 2010*

Importador	Cantidad	% Part	Pareto
Gaseosas Posada Tobón S.A.	102,000	23.37%	23.37%
Quimerco S.A.	81,905	18.77%	42.14%
T Vapan 500 S.A.	78,115	17.90%	60.04%
Danisco Colombia LTDA.	72,675	16.65%	76.69%
Alpina Productos Alimenticios S.A.	57,38	13.15%	89.84%
Surtiquímicos LTDA	35,137	8.05%	97.89%
Conservas California S.A.	6,000	1.37%	99.27%
Tecnas S.A.	1,200	0.27%	99.54%
Cadiep Distribuciones LTDA.	1,000	0.23%	99.77%
Andiquímicos LTDA.	1,000	0.23%	100.00%
G & G Sucesores LTDA.	0,000	0.00%	100.00%
TOTAL	436,412		

Nota. Lista de importadores de pectina en Colombia en el año 2010. Tomado de: Escuela de Ingeniería de Antioquia EIA, *El Entorno Comercial De La Pectina En La Industria Alimentaria Antioqueña*. https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/1107/7/GarciaCamila_2011_EntornoComercialPectina.pdf

Debido a la falta de información en cuanto a los reportes de la importación de pectina se realizó una proyección por medio del método de suavización exponencial doble (SED) tomando como datos de partida las importaciones de pectina desde el año 2002 hasta el año 2011 y proyectando hasta el año 2022, como se expone en la tabla 8

Tabla 8.*Proyección de importaciones de pectina en Colombia*

Año	Kg de pectina Importados
2002	165712,0
2003	190945,9
2004	190364,2
2005	220233,4
2006	256092,2
2007	315233,7
2008	529142,0
2009	300912,7
2010	436407,3
2011	480385,8
2012	511506,4
2013	548408,8
2014	585311,3
2015	622213,7
2016	659116,1
2017	696018,6
2018	732921,0
2019	769823,5
2020	806725,9
2021	843628,4
2022	880530,8

Nota. Proyección de pectina en Colombia hasta el año 2022

2. PRETRATAMIENTOS

“En la selección de pretratamientos es de suma importancia que previamente se haya hecho un filtro y selección de materia prima, esto con el fin de trabajar únicamente con frutos en buen estado es decir sin daños microbiológicos, golpes mecánicos y en un estado de maduración óptimo para el proceso” [12]. A continuación, se describen con detalles los posibles pretratamientos para la cáscara de la *passiflora* en proceso de adecuación para la extracción.

2.1. Lavado

El pretratamiento más sencillo consiste el lavado a la materia prima para eliminar microorganismos que puedan afectar el rendimiento del proceso, esto se hace con agua. Stückrath, Méndez e Ibarra en el artículo “Comparación en la metodología de extracción de pectinas de bajo metoxilo por medio de agentes quelantes utilizando diferentes pretratamientos” [14] usan lavado con agua a diferentes condiciones de temperatura observando cómo afecta esta variable en el rendimiento de la extracción.

Se evidenció que el pretratamiento con agua fría y un pH de 7.5 no es favorable para el proceso debido a que la sustancia de interés se solubiliza en agua y se pierde producto final, una manera de cuantificar la eficiencia del proceso es con los gramos obtenidos de ácido galacturónico (AGA) por gramos de fruta fresca, el mayor valor fue de 0.3852 gramos de ácido galacturónico por cada 100 gramos de fruta fresca correspondiente al lavado con agua a 75°C y el menor valor (lavado con agua fría) fue de 0,2804 gramos de ácido galacturónico por cada 100 gramos de fruta fresca.

«En este artículo, también se destaca la importancia del pretratamiento, ya que comparando la extracción sin ninguna clase de lavado con la extracción con previo lavado con agua a 75°C se logra concluir que los rendimientos mejoran considerablemente, esto se debe a que la pared celular (donde se sitúan las sustancias pécticas) cuando entra en contacto con el fluido a alta temperatura se expande permitiendo un mejor contacto entre las sustancias de la extracción conllevando a una mayor cantidad de pectina extraída.» [14]

2.2. Escaldado

Esta técnica consiste en un choque térmico entre agua a 90°C aproximadamente donde se sumergen por un tiempo corto (entre 1 y 15 minutos) aunque dependiendo la fruta este tiempo puede aumentar o disminuir según las características de la corteza. Los trozos de cáscara para adecuar la pared celular y que esta permita extraer más fácilmente las sustancias pécticas como en la técnica anterior, su principal diferencia es la temperatura del agua y que el lavado es superficial y en el escaldado se sumergen todos los trozos, esta reducción de tamaño puede realizarse con diversos instrumentos, como cuchillos, licuadoras, entre otros.

Usualmente se dejan los trozos durante 10 minutos [15] ya que si el tiempo que dura la cáscara en el pretratamiento es muy largo cabe la posibilidad que se desnaturalicen las sustancias contenidas en la pared vegetal. “Este pretratamiento también ayuda a prevenir actividad microbiana que pueda afectar la corteza del fruto y a inactivar las enzimas pécticas para evitar que estas reaccionen en otros procesos y se consuman.” [16]

Con el objetivo previamente enunciado de inactivar las enzimas pécticas que consumen la pectina contenida en la corteza de la naranja Arias y Tuiran [16] sumergen los trozos de cáscara en agua en proporciones aproximadas de 300 gramos de cáscara por litro de agua y calentar esta mezcla hasta el punto de ebullición del agua, esto también contribuye a eliminar suciedades presentes.

2.3. Secado y reducción de tamaño

Después de lavar o escaldar la corteza del fruto a utilizar es necesario reducir la humedad del fruto, la mayoría de las veces este proceso se lleva a cabo en un horno variando el tiempo de secado y la temperatura, la combinación de estas variables es propuesta por cada autor. Adicionalmente, después de eliminar la humedad de la materia prima es necesario que el tamaño de los trozos se reduzca para tener un mejor contacto entre el medio de extracción y el área superficial de la cáscara.

En el estudio realizado por Taghi, la extracción de pectina partiendo de la cáscara de higo [17] propone un tiempo de secado de 36 horas en un horno que está a la temperatura de 50°C y posterior

al secado, los trozos de corteza pasaron a una licuadora de café durante 2 minutos. El tamaño de partícula se comprobó pasando el resultado de la licuadora por el tamiz estándar US número 40, el cual tiene una abertura de 0.42 milímetros.

Aline de Moura [18] para extraer la pectina de la cáscara de maracuyá utiliza la misma temperatura que Taghi, sin embargo para disminuir al máximo el contenido de agua la duración del secado es de 48 horas y posteriormente se pulverizó.

En el caso de la extracción a partir de la corteza de curuba, Edna Posada [2] realiza ambos pretratamientos, lavado y escaldado. Posteriormente corta la corteza en trozos asimétricos pequeños con ayuda de un cuchillo previamente desinfectado e introduce el resultado al horno a temperatura constante de 50°C hasta que la cáscara alcanza un porcentaje de humedad del 9%. Para terminar de reducir por completo el tamaño de la materia prima se procede a moler la cáscara seca y finalmente tamizar, se usaron mallas redondas de 20, 40, 60 y 70 centímetros, con el propósito de obtener una harina más fina con un menor tamaño de partícula.

Por otra parte, además de tener en cuenta la temperatura de secado es importante saber qué tipo de secado usar, Qin [19] trata de exponer esta idea al comparar los porcentajes de rendimientos del proceso con tres tipos de secado distintos y además la fruta fresca. El primer método es el más sencillo que consiste en cortar la corteza en trozos pequeños y colocarlas al sol durante 20 días, cada día durante 8 horas.

La segunda opción de pretratamiento de secado es llamada liofilización que consiste en congelar completamente los trozos de cáscara cortados previamente. Se mantuvieron a -20°C y después de esto fueron sometidos a una disminución de presión para que el agua congelada se sublimará y así se obtuviera una eliminación completa y rápida del fruto, para esto uso un equipo llamado LGJ-10C durante 48 horas.

La deshidratación con dimetileter (DME) en estado subcrítico es el tercer y último pretratamiento comparado en este artículo, donde se dio uso a un equipo de extracción de fluidos subcríticos (consiste en un tanque para el almacenamiento del DME en estado subcrítico, un regulador, un tanque de extracción, un tanque de vaporización, una bomba de vacío y un sistema de circulación de agua).

Para empezar el pretratamiento es necesario que la corteza se haya cortado en pedazos pequeños y se introduzcan en el tanque de extracción. Posteriormente se crea vacío en el tanque de extracción, el tanque de vaporización y el regulador, esto con la finalidad de prevenir la oxidación de sustancias activas en la corteza. después se inyecta DME subcrítico en el tanque de extracción y para maximizar el rendimiento se introdujo una relación líquida/sólido de 10:1. La duración de la extracción fue de 20 minutos y durante todo el proceso el DME se mantuvo a 30°C. Para concluir el proceso, la mezcla de DME y agua fue enviada al tanque vaporizador, en donde el DME se evapora y se recircula para ser utilizado de nuevo. Los resultados encontrados se resumen en la tabla 9.

Tabla 9.
Rendimiento y composición de pectinas obtenidas por diferentes métodos de secado.

	FP	LP	SP	DP
Yield (%) ^a	6.09 ± 0.51	10.49 ± 0.23	7.59 ± 0.78	6.05 ± 0.42
Monosaccharide composition (%)				
Fuc ^b	0.05	0.01	0.03	0.02
Rha	5.31	2.04	3.89	6.32
Ara	24.15	15.1	34.93	17.56
Gal	11.35	3.96	8.47	11.85
Glu	19.78	1.58	8.07	18.23
Xyl	0.9	0.15	0.36	1.68
Man	0.16	0.14	0.76	0.47
GalA	37.07	76.41	42.67	43.28
GluA	1.22	0.61	0.83	0.6
HG	31.76	74.37	38.78	36.96
RG-I	46.12	23.14	51.18	42.05
(Ara + Gal)/Rha	6.92	9.86	11.80	4.75
Rha/GalA	0.17	0.03	0.11	0.17
Gal/Ara	0.39	0.22	0.20	0.56
GalA/(Fuc + Rha + Ara + Gal + Xyl + GlcA)	0.64	2.71	0.67	0.90
DE (%)	60.65	56.55	40.40	72.95
Protein (%)	2.5	2.8	2.1	3.2

^a Based on AIS.

^b Abbreviations: Fuc, fucose; Rha, rhamnose; Ara, arabinose; Gal, galactose; Glu, glucose; Xyl, xylose; Man, mannose; GalA, galacturonic acid; and GluA, glucuronic acid.

Nota. Abreviaciones: FP, Fruta fresca; LP, Liofilización; SP, Secado con luz solar; DP, DME subcritico; DE%, grado de esterificación. Tomado de: International Journal of Biological Macromolecules, *Effect of drying pretreatment methods on structure and properties of pectins extracted from Chinese quince fruit*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.209>

“El estudio reporta que el rendimiento más alto fue la extracción que uso la liofilización como pretratamiento con un 10.49%, mientras que el más bajo rendimiento fue el obtenido por medio de DME subcrítico (6.05%), incluso menos que la fruta fresca que no se había visto sometida a ningún pretratamiento (6.09%), en el segundo lugar se queda la fruta secada a la luz del sol con 7.59%.” [19]

Adicionalmente se evidencia el cambio en los porcentajes de los monosacáridos que se contienen en la pectina, es relevante la cantidad de manosa y glucosa ya que estos son monosacáridos no pécticos, aunque el porcentaje de manosa en todas las extracciones es similar, la cantidad de glucosa aumenta significativamente en la extracción de la fruta fresca y la tratada con DME subcrítico. Además, el porcentaje de ácido galacturónico que es considerado una variable de repuesta al determinar la pectina total es mayor en la extracción con secado liofilizado (76.41%) comparado con los otros tres métodos (37.07%, 42.67% y 43.28%).

Otro aspecto importante en el análisis de los resultados es el grado de esterificación que presenta cada pectina obtenida ya que este define su uso, tal como se mencionó en el capítulo anterior. Aunque los valores son bastante diferentes entre sí, solo la pectina secada con luz solar es considerada de bajo metoxilo, los otros tres métodos a tener un porcentaje mayor de 50% pueden ser usadas en productos con un alto contenido de azúcares.

Basándose en estos resultados se deduce que el método de DME subcrítico no es una buena opción por sus altos costos, complejidad del equipo y sobre todo por su bajo rendimiento, además si no se cuenta con el equipo para realizar la liofilización es preferible secar los trozos de corteza con luz solar que empezar la extracción sin ningún tipo de secado, ya que el rendimiento se verá considerablemente afectado.

Como conclusión de este capítulo y tomando en cuenta las referencias bibliográficas ya mencionadas, para el proceso de la extracción de pectina se utilizará como pretratamiento agua fría a temperatura ambiente en Bogotá, con el objetivo de eliminar microorganismos de la materia prima.

Posteriormente, se realizará el pretratamiento de escaldado, ya que se evidencia que la liberación de sustancias es mejor cuando se realiza el choque térmico, además desactiva enzimas que consumen sustancias pécticas y previene la actividad microbiana que pueden dañar la cáscara.

Adicionalmente se eliminará la humedad en un horno debido a que el secado a luz solar es un proceso que toma un tiempo prolongado y los demás métodos necesitan de equipos complejos que elevan el costo total del proceso (liofilización y DME subcrítico). Finalmente se reducirá el tamaño de partícula de la cáscara en un molino, hasta obtener polvo fino, elevando el área superficial que entra en contacto con el solvente, mejorando el rendimiento del proceso.

El insumo proveniente del molino será la materia prima para la siguiente etapa de la extracción, el método de extracción será el tema de estudio en el siguiente capítulo.

3. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN

3.1. Hidrólisis ácida

«Esta técnica es la más usada en la extracción de pectinas sin importar la materia prima inicial, sin embargo, no siempre es la mejor opción, debido a que algunas veces presenta rendimientos bajos, por ejemplo, al tomar valores de pH por encima de 2.4 y tiempos de extracción cortos se obtienen rendimientos cercanos al 7%. Este método consiste en acidificar hasta un pH de 1.5 a 3 una solución de agua que contiene los trozos de materia prima, esto se hace con ayuda de ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido clorhídrico, siendo este último el más usado.» [20]

Una vez la solución está lista se procede a calentarla a temperaturas cercanas a los 90°C durante un tiempo que varía desde 30 minutos hasta 12 horas dependiendo del autor y este calentamiento se da con agitación continua.

Un completo estudio sobre las variables que afectan directamente el rendimiento de la extracción fue hecho por Colodel y su equipo de trabajo [20] donde variaron los valores de pH en la solución ácida (entre 2, 2.5 y 3), el tiempo de extracción (un rango desde 36 a 110 minutos) y la relación líquido-sólido con variaciones de 15, 22.5 y 30 mililitro/gramo. El resultado se muestra en la tabla 10.

Tabla 10.

Rendimiento de extracción con diferentes pH, tiempos de extracción y relación líquido-sólido.

Assay	pH	Et (min)	LS (mL/g)	Yield (%)	Uronic acid (%)
5	2 (-)	36 (-)	30 (+)	22.0	53.4
15	2.5 (0)	73 (0)	22.5 (0)	14.6	52.3
7	2 (-)	110 (+)	30 (+)	25.8	60.8
3	2 (-)	110 (+)	15 (-)	14.6	47.2
18	2.5 (0)	73 (0)	22.5 (0)	14.8	55.8
11	2.5 (0)	10.77 (- α)	22.5 (0)	7.6	56.9
6	3 (+)	36 (-)	30 (+)	10.6	52.3
4	3 (+)	110 (+)	15 (-)	19.5	51.1
8	3 (+)	110 (+)	30 (+)	17.2	55.7
17	2.5 (0)	73 (0)	22.5 (0)	15.4	55.5
10	3.34 (+ α)	73 (0)	22.5 (0)	18.6	67.4
14	2.5 (0)	73 (0)	35.11 (+ α)	14.0	61.8
12	2.5 (0)	135.23 (+ α)	22.5 (0)	18.3	44.8
1	2 (-)	36 (-)	15 (-)	9.4	62.6
19	2.5 (0)	73 (0)	22.5 (0)	15.1	51.7
13	2.5 (0)	73 (0)	9.89 (- α)	11.7	55.4
2	3 (+)	36 (-)	15 (-)	15.3	57.2
9	1.66 (- α)	73 (0)	22.5 (0)	25.2	70.9
16	2.5 (0)	73 (0)	22.5 (0)	15.4	51.8

Et = Extraction time; LS = liquid:solid ratio.

Nota. Rendimiento de la extracción de pectina experimental con diferentes condiciones. Tomado de: International Journal of Biological Macromolecules, *Extraction of pectin from ponkan (Citrus reticulata Blanco cv. Ponkan) peel: Optimization and structural characterization*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.048>

“Concluyeron que el pH afectaba inversamente el rendimiento, es decir, cuando el valor de pH disminuye, el valor del rendimiento aumenta, esto debido a que los bajos pHs es más probable que las pectinas insolubles pasen a ser solubles incrementando el porcentaje que se extrae de la corteza.” [20]

«También se dedujo que el porcentaje de rendimiento es directamente proporcional el tiempo de extracción, si la extracción tiene una duración más longeva el rendimiento tiende a aumentar ya que se maximiza el contacto entre el medio y la pared celular de la que provienen las moléculas pécticas. Por otro lado, la última variable que puede afectar el rendimiento de la extracción por medio de la hidrólisis ácida es la relación líquido-sólido, esto porque al aumentar la relación hay una mayor área de contacto entre la corteza y el medio, facilitando la ruptura de la pared celular y así generar la liberación y solubilización de la pectina.» [20]

Finalmente, al analizar el efecto combinado de las variables analizadas sobre el rendimiento, se dedujo que la mejor combinación para la extracción fue un pH de 2, un tiempo de extracción de 110 minutos y una relación líquido-sólido de 30. Igualmente se evidenció que el ácido urónico (ácido péctico similar al ácido galacturónico) es similar en la mayoría de extracciones, variando

en un rango desde 44.8 a 70.9, estos valores comparten el mismo valor de la relación líquido-sólido, infiriendo que esta variable no afecta el porcentaje de ácido urónico.

Por otra parte también es posible realizar comparaciones entre el medio ácido en el cual las moléculas pécticas se solubilizan, un buen ejemplo es el artículo de Koubala, Kansci, Mbome, Crépeau, Thibault y Ralet [21] donde se compararon 3 medios de extracción, una solución de agua y ácido clorhídrico (HCl), agua desionizada y oxalato de amonio.

«Los resultados presentados en la tabla 11, demuestran que los más bajos rendimientos de extracción se remiten al agua desionizada y que los otros dos medios generan rendimientos similares, pero mucho más altos que los producidos con agua. Además, se encontró que los rendimientos son similares si se reemplaza el ácido clorhídrico con ácido sulfúrico mientras el pH sea el mismo.» [21]

Tabla 11.
Rendimiento de extracción con diferentes medios.

Extraction process	Source	Yield	
		<i>mg/g dry AIR</i>	<i>mg/g dry peel</i>
HCl (pH 1.5)	<i>Améliorée</i>	204 ± 8	101 ± 4
	<i>Mango</i>	263 ± 6	153 ± 3
	<i>Lime</i>	259 ± 3	198 ± 2
Water	<i>Améliorée</i>	92 ± 9	46 ± 4
	<i>Mango</i>	132 ± 5	76 ± 3
	<i>Lime</i>	88 ± 6	67 ± 5
Ammonium oxalate	<i>Améliorée</i>	235 ± 10	116 ± 5
	<i>Mango</i>	318 ± 14	185 ± 8
	<i>Lime</i>	297 ± 12	226 ± 9

Values are means of triplicate measurements.

AIR: alcohol insoluble residue.

Nota. Comparación de rendimiento de extracción por hidrólisis ácida, por medio de diferentes medios ácidos. Tomado de: Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from “*Améliorée*” and “*Mango*” mango peels. doi:10.1016/j.foodhyd.2007.07.005

Cabe aclarar que el estudio se realizó con tres diferentes cortezas de frutas para evidenciar si los cambios obtenidos con los medios de extracción variaban con respecto a la naturaleza de la

cáscara, sin embargo, en los tres casos (Améliorée, mango y lima) se presenta el mismo comportamiento, el oxalato de sodio es el mejor medio, seguido del agua acidificada con ácido clorhídrico. Es una buena opción realizar un estudio similar comparando los diferentes ácidos con los que se puede acidificar (cítrico y sulfúrico).

Por último, Kulkarni y Vijayanand [22] estudiaron de cerca las variables de control para hacer más eficiente el proceso de extracción por medio de la hidrólisis ácida, al igual que la investigación previa se varió el pH, el tiempo de extracción y la relación líquido-sólido, no obstante, se estudió también el efecto de la temperatura de la extracción y los rangos de pH fueron más amplios.

Este autor [22] llegó al mismo resultado que el anterior [21] en lo que respecta al tiempo de extracción, entre más duración tenga, mejor es el rendimiento del proceso.

«En lo que respecta a la relación sólido líquido, se obtuvo un resultado similar, entre mayor sea la relación, el rendimiento aumenta, cabe aclarar que esta afirmación tiene un límite. Cuando la relación varía de 1:10 a 1:30 (peso/volumen) el aumento es significativo, mientras que el aumento del rendimiento de 1:30 a 1:40 no es amplio, por ende, al usar mayor cantidad del medio de extracción, no mejora el proceso, pero si, se entra en pérdidas económicas que no son favorables.» [22]

El autor anterior encontró que el mejor rendimiento se daba a bajos pH, específicamente a un pH de 2, Kulkarni encontró que el mejor pH para la extracción es de 2, la diferencia es que al incluir en el estudio pHs más bajos (1 y 1.5), disminuye el rendimiento considerablemente, por tanto, existe un límite inferior para la solución ácida.

Para terminar, “la relación entre la temperatura de extracción y el rendimiento del proceso indica que son directamente proporcionales, encontrando que, si se aumenta la temperatura de 70 a 98,7°C el rendimiento aumenta en 7.17 gramos de pectina/gramos de materia prima, esto a condiciones de pH igual a 2, relación líquido-sólido de 1:30 (peso/volumen) y un tiempo de extracción de 60 minutos.” [22]

3.2. Hidrólisis enzimática

“La extracción por vía enzimática es uno de los menos trabajados en este campo, debido a los elevados costos de las enzimas y los largos periodos de extracción requeridos” [12]. “Este método de extracción se basa en emplear enzimas comerciales las cuales presentan algunas ventajas con respecto a la pectina extraída por medio de la hidrólisis ácida, debido a que estas proteínas solubles presentan actividad biológica y aplicaciones médicas.” [23]

El proceso empleado para la extracción de pectina se basa en el artículo de Contreras-Esquivel, Banda-Reyes y Montañez-Sáenz, en el cual se evidencia el uso de las siguientes enzimas: endo-poligalacturonasa (*Aspergillus niger*), endo-celulasa (*Trichoderma sp.*) y endo-arabinasa (*A. niger*).

«Se inició tomando 80 mililitros de amortiguador ácido cítrico-citrato de sodio al 50%, pH 4.5 en un reactor enchaquetado de mezclador ideal a 40°C. Posteriormente se agregó 80 mililitros de enzima y 2 gramos de cáscara. Dicha reacción se mantuvo en constante agitación durante 12 horas. Al finalizar la reacción se realizó una precipitación al contenido péctico con dos volúmenes de etanol y se separó por medio de filtración.» [23]

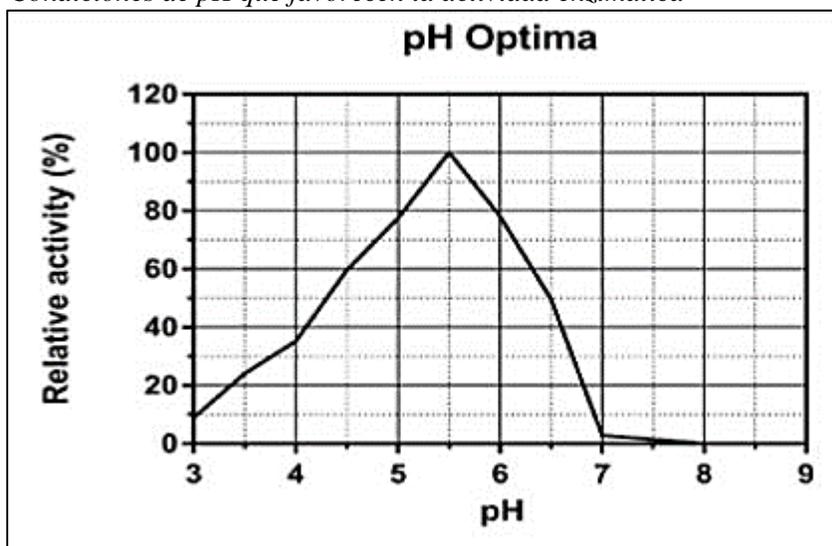
Los autores concluyeron que con la enzima endo-poligalacturonasa se logró liberar un alto porcentaje de material péctico (32.5%), mientras que las demás enzimas no mostraron la capacidad de solubilización necesaria para la obtención de pectina. “Es así como la pectina extraída corresponde a pectina de alto grado de esterificación y contiene características estructurales iguales a las pectinas extraídas por el método convencional (Hidrólisis ácida).” [23]

Por otro lado, Nicolás Chirivi y Giselle Palencia [12] en su trabajo de grado utilizaron para la extracción de pectina la enzima endo-poligalacturonasa (*Aspergillus niger*) desarrollando diferentes procedimientos en donde emplearon tamaños de partículas de 250, 149 y 74 micrómetros. [12]

Posteriormente «se tomaron 100 gramos de materia prima y se agregaron 900 mililitros de agua destilada obteniendo un pH de 4.7. En esta solución se utilizó Carbonato de calcio (CaCO_3) teniendo en cuenta que su solución no requiere de agitación previa de ser preparada y es un regulador que no presenta insolubles, se agregó a la solución hasta llegar a un pH de 5.5, debido

a que es el pH recomendado en donde la enzima obtiene mayor actividad» [12] como se muestra en la siguiente figura 6.

Figura 6.
Condiciones de pH que favorecen la actividad enzimática



Nota. Comparación de la actividad enzimática con respecto al pH óptimo. Tomado de: Fundación Universidad de América, Evaluación Del Proceso De Obtención De Una Biopelícula Utilizando Pectina Extraída Enzimáticamente De La Cáscara De Naranja Valenciana. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/7625>

“Posteriormente se calentó la solución a 40°C y se agregó la enzima endo-poligalacturonasa a una concentración de 200 miligramos/litro con agitación constante a 530 rpm, evitando que el material se depositara en el fondo del recipiente durante 7 horas.” [12]

«Una vez transcurrido el tiempo se procede a realizar una filtración al vacío para separar el material sólido del líquido, y es así como este último continúa al proceso de precipitación en donde se agregó alcohol etílico al 70% en donde el volumen de alcohol utilizado es equivalente al 80% de solución proveniente de la filtración de residuos. Por último, se procedió a centrifugar la solución precipitada a 5000 rpm, durante 20 minutos. La pectina húmeda se secó a temperatura ambiente por 48 horas y la masa resultante se maceró y almacenó para el proceso de caracterización.» [12]

Los anteriores autores Nicolás Chirivi y Giselle Palencia [12] a comparación de Contreras-Esquivel, Banda-Reyes y Montañez-Sáenz [23] obtuvieron un porcentaje menor que fue del

12.41% en la pectina extraída, debido a la materia prima utilizada en los dos procedimientos. Sin embargo, en los dos procedimientos se evidencia que la extracción enzimática es fácilmente controlable y existe un consumo de energía bajo al utilizar una temperatura de trabajo de 40°C gracias a la actividad de las enzimas, es decir, una temperatura por debajo de la temperatura empleada en hidrólisis ácida que se genera aproximadamente en los 80°C. [12]

De acuerdo con los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de Nicolás Chirivi y Giselle Palencia [12], tanto «la pectina extraída químicamente, como la extraída enzimáticamente, poseen propiedades similares, dentro de las cuales resulta pertinente destacar su bajo metoxilo (5.74% - 6.98% respectivamente) y su alto grado de esterificación de las pectinas (81.48% - 88.34% respectivamente), aunque la aplicación por vía enzimática presentó menor rendimiento de extracción en comparación con la hidrólisis ácida con una diferencia de 5.32 puntos porcentuales.» [12]

Por otra parte, los autores Mendoza Vargas, Jiménez Forero y Ramírez Nino [15] exponen la extracción por vía enzimática a escala laboratorio con la enzima comercial *Viscozyme L*. «Realizaron 4 muestras con el complejo enzimático que se dividieron de la siguiente manera: T₀: 0µL; testigo T₁: 16.5µL, T₂: 49.5µL y T₃: 82.9µL, de acuerdo con la ficha técnica de aplicación del fabricante se utiliza un rango de 0.2 a 1 kilogramo de enzima, por cada tonelada de materia prima, es así como se calcularon 100 gramos de materia prima en 3 muestras diferentes: mínimo, T₁; intermedio, T₂ y máximo, T₃ del complejo a una temperatura de 50°C y pH de 5. Finalmente se tomó una muestra T₄ con hidrólisis ácida agregando 1 mol/litro de ácido clorhídrico a 90°C y pH 2. Adicionalmente, se estableció una hora de extracción para todos los tratamientos.» [15]

“Una vez pasado el tiempo de extracción se procedió a realizar la precipitación de la pectina por medio de etanol al 96% adicionando $\frac{3}{4}$ al volumen de la solución péctica por 30 minutos. Posteriormente se filtró el producto obtenido en tela muselina y se secó en horno para alcanzar un peso constante.” [15]

Los autores previamente mencionados [15] manifestaron que «la concentración enzimática evidencia un aumento de 5% por cada µL de complejo enzimático/gramo de cáscara a comparación con la hidrólisis convencional. A partir de este comportamiento se deduce que a bajas concentraciones de enzima es probable que se produzca saturación de los sitios activos lo

cual impide alcanzar durante el tiempo transcurrido un mayor rendimiento en el proceso de extracción.» [15]

3.3. Hidrólisis ácida asistida con ultrasonido

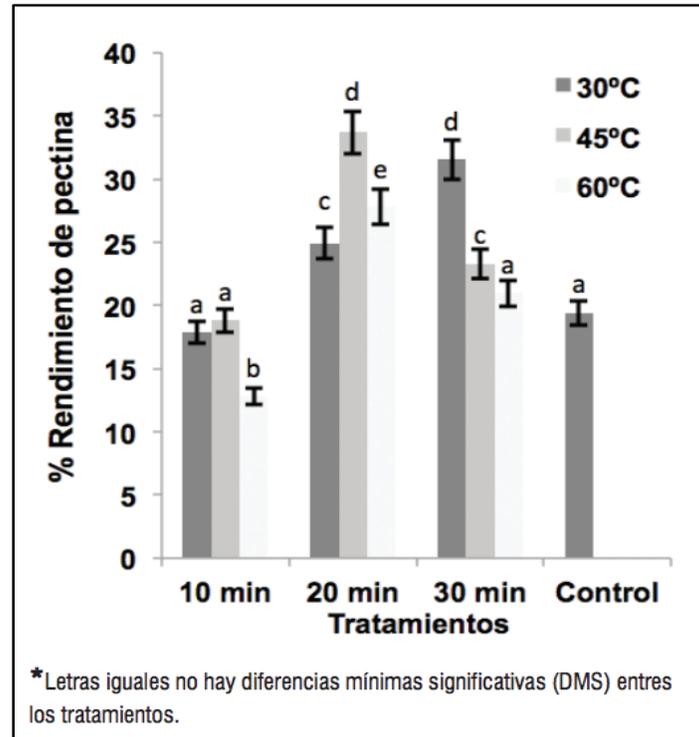
«El ultrasonido es una forma de energía generada por sonido, son ondas con frecuencias tan altas que no pueden ser detectadas por el oído humano, sin embargo, cuando las ondas de ultrasonido se propagan a través de una estructura biológica estas inducen compresiones y expansiones de las partículas que atraviesa, en este orden de ideas dependiendo de la frecuencia usada causa diferentes efectos físicos, químicos y bioquímicos, abriendo una alta gama de aplicaciones.» [24]

«Uno de los usos más innovadores del ultrasonido es en bioquímica, tanto rompiendo paredes celulares para liberar contenidos hasta activar enzimas previamente inmovilizadas, en cuanto a las enzimas también puede ser usado como método de inhibición o desactivación. Asimismo, un beneficio de esta técnica es la destrucción de microorganismos, usando intensidades muy altas pueden llegar a funcionar como método de esterilización, actualmente en la industria alimentaria se usa una combinación entre métodos tradicionales de esterilización (Altas presiones o temperaturas, pH extremos, etcétera) y ultrasonido.» [24]

De este modo, se considera el ultrasonido como una opción distinta al método tradicional de extracción de pectina. Campo [25] usó esta técnica con ayuda de un equipo Branson 3800 el cual emite ondas de sonido a la frecuencia de 40 kHz usando como medio de transmisión agua desionizada, las muestras fueron tratadas durante diferentes intervalos de tiempo (10, 20 y 30 minutos). La figura 7 expone gráficamente una comparación entre el tiempo de irradiación, la temperatura y el rendimiento.

Figura 7.

Porcentajes de rendimientos de pectina de los tratamientos US.



Nota. *Control es la muestra sin tratamiento de ultrasonido. Tomado de: Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial. *Efecto del pre-tratamiento con ultrasonido en la extracción de pectina contenida en el albedo del maracuyá (Passiflora edulis).*

<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n1/v14n1a13.pdf>

«Se concluye que las muestras que fueron tratadas con estas ondas durante 20 minutos presentaron un incremento significativo en el porcentaje de rendimiento de la extracción, comparadas al rendimiento del proceso si solamente se practicó la hidrólisis ácida. Al contrario de las muestras tratadas durante 20 minutos, aquellas que fueron tratadas durante 30 minutos disminuyeron el rendimiento en comparación, pero siguen siendo mayores que la extracción sin tratamiento.» [25]

Es de resaltar que la temperatura que conduce al mayor rendimiento cambia con el tiempo de irradiación, por ejemplo, si la muestra se irradia durante 20 minutos, la temperatura que se traduce en un mejor rendimiento es de 35°C, mientras que si el tiempo es de 30 minutos la temperatura

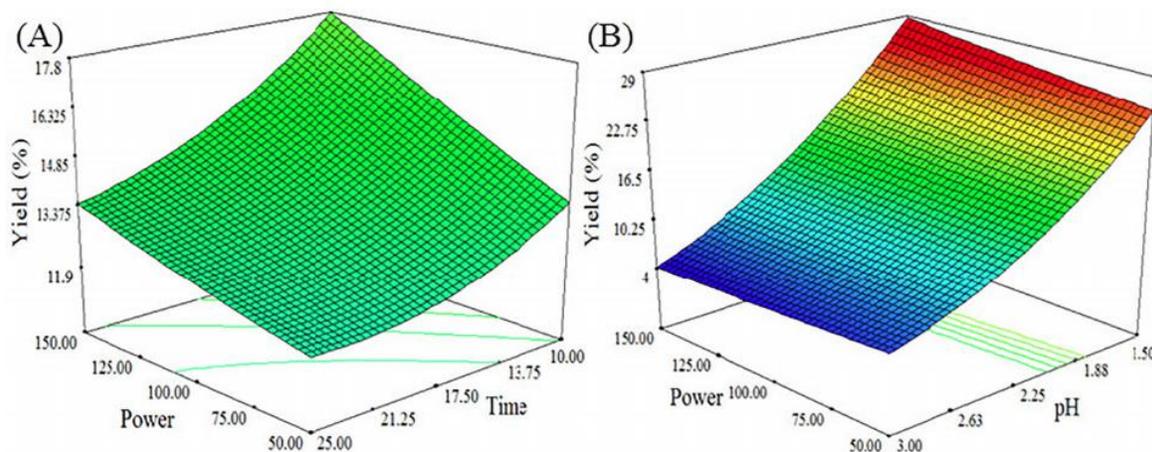
óptima de 30°C, adicionalmente si cualquier muestra se encuentra a 60°C el rendimiento disminuye sin importar el tiempo de irradiación.

Por otra parte, es necesario estudiar cómo afecta la potencia del ultrasonido en la extracción, como lo hizo Hosseini en el artículo “Optimización y caracterización de la pectina extraída de la cáscara de naranja por el método asistido con ultrasonido” [26]. El objetivo de este estudio era estudiar los rendimientos del proceso cambiando los valores de potencia del ultrasonido, tiempo de irradiación y el pH del medio.

Inicialmente se trabajó con valores fijos de 100 vatios, 20 minutos y un pH de 2.25 para encontrar el mejor valor de la relación líquido-sólido, se dedujo que la extracción era más eficiente con una relación de 20 volumen/peso. Posteriormente a obtener la mejor relación se dio comienzo a la extracción mezclando 5 gramos de la cáscara de naranja (previamente acondicionada para el proceso) con agua destilada acidificada con ácido nítrico, la cantidad de ácido nítrico varía según el pH que se quiera obtener. Una vez la solución fue preparada se sumergió el equipo de ultrasonido de 20 kHz en la mezcla.

Figura 8.

Porcentajes de rendimientos de pectina a diferentes valores de potencia, tiempo de irradiación y pH.



Nota. Comparación de hidrólisis ácida asistida por ultrasonido a diferentes condiciones. Tomado de: International Journal of Biological Macromolecules, *Optimization and characterization of pectin extracted from sour orange peel by ultrasound assisted method*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.096>

Cuando se realizaron todos los ensayos con las mezclas de los valores del diseño de experimentos se encontró que entre mayor sea la potencia aplicada en el ultrasonido, durante un

bajo tiempo se generan mejores rendimientos, adicionalmente, el valor de pH del punto óptimo también era el menor como se muestra en la figura 8.

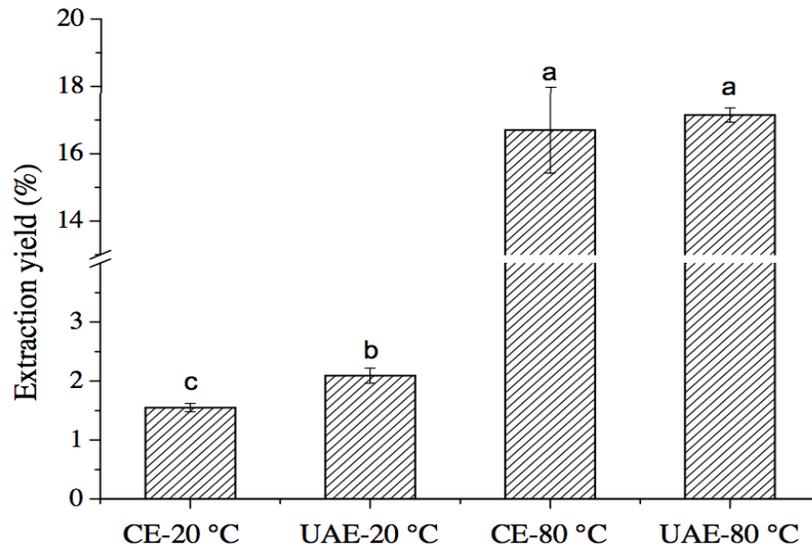
Finalmente, Hosseini declara que “el rendimiento obtenido en el punto óptimo (28.07%) es similar a la extracción obtenida con el método asistido con microondas (28.85%), no obstante, este porcentaje si es mayor que con la extracción tradicional de la hidrólisis ácida (17.95%).” [26]

Por último, una comparación más profunda entre la hidrólisis ácida y el método asistido con ultrasonido es hecha por Wang y sus colegas [27], donde se realizan 4 extracciones, dos de ellas fueron hidrólisis ácida con un radio de 1:40 entre la cáscara de mango y la solución ácida de ácido cítrico, estas dos extracciones se ajustaron a un pH de 2.5. La primera extracción se mantuvo a 20°C y la segunda a 80°C, ambas durante 2 horas.

En lo que respecta a las otras dos extracciones, se manejó el método asistido con ultrasonido, específicamente con el equipo JY92-2D (NingBo Scientz Biotechnology Co. Ltd, Ningbo, Zhejiang, China). Los valores de pH y temperatura fueron iguales que la extracción tradicional, mientras que el tiempo de extracción bajó a 15 minutos, tiempo encontrado en un estudio previo hecho por los mismos autores. En cuanto al equipo de ultrasonido, se manejó una potencia de 500 vatios y una frecuencia de 20 kHz . La conclusión del estudio se expresa gráficamente en la figura 9.

Figura 9.

Porcentajes de rendimientos de pectina con diferentes métodos y temperaturas.



Nota. Abreviaciones: CE, Extracción convencional; UAE, extracción asistida con microondas. Tomado de: *International Journal of Biological, Macromolecules Characterization and functional properties of mango peel pectin extracted by ultrasound assisted citric acid.*
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.011>

Una vez terminadas todas las extracciones se procedió a realizar el análisis de resultados, el cual demostró que los rendimientos de pectinas cambiaron significativamente entre las extracciones a 20°C (1.55%-2.09%) y a 80°C (16.7%-17.15%) sin importar el método de extracción, estos porcentajes fueron cerca de diez veces mayores.

Sin embargo, “el ultrasonido demostró mayores rendimientos en ambos casos, apuntando a que esta técnica puede ayudar a romper la pared celular de una manera más fácil, adicionalmente el tiempo de extracción se reduce considerablemente de 2 horas a 15 minutos, haciendo el proceso mucho más rápido.” [27]

3.4. Hidrólisis ácida asistida con microondas

“Es una técnica rápida que se basa en el uso de microondas a partir de volúmenes pequeños de solvente en donde los compuestos de interés pasan de la muestra a un disolvente adecuado, permitiendo el control de una serie de parámetros que afectan a la eficacia de extracción.” [28]

«Esta técnica de extracción por medio de la energía de microondas, genera un calentamiento en contacto directo con el solvente, es así como la temperatura de ebullición y la naturaleza del solvente separan los compuestos de interés de la materia prima, seguidamente el material básico es irradiado por microondas, el cual se convierte en energía calórica y un aumento de temperatura dentro de la materia prima.» [28]

Según Zegada [29] el método de extracción por microondas ocasiona un ahorro energético a comparación del método convencional, asimismo cuenta con un tiempo de proceso más corto.

El autor anteriormente mencionado realiza una comparación entre la hidrólisis convencional y la hidrólisis convencional asistida por microondas. “Inicia agregando 60 gramos de materia prima, en un sistema abierto, sin agitación irradiado con 540 vatios a una frecuencia de 2450 MHz, empleando ácido cítrico como solvente a una temperatura de 61°C. (Temperatura de ebullición del solvente).” [29]

«Los factores independientes del experimento se presentan en la tabla 12, en donde estos valores fueron adoptados al realizar pruebas preliminares de extracción, para ellos se realizó un análisis ANOVA mediante el software Statgraphics Centurion versión XV, con un diseño factorial de los tres factores a dos niveles, aleatorizado, sin bloques, incluyendo dos puntos centrales y con un nivel de significancia igual a 0.05. En total, se realizaron 10 pruebas, incluyendo los dos puntos centrales, lo cual permitió tener 3 grados de libertad para el error.» [29]

Tabla 12.

Diseño experimental para la operación de hidrólisis asistida por microondas

Parámetro	Mínimo	Máximo
pH	2,17±0,05	2,56±0,05
Proporción solvente : materia prima, mL:g	18:1	24:1
Tiempo de extracción, min	7	15

Nota. Diseño experimental realizado para la extracción de pectina por hidrólisis ácida asistida por microondas. Tomado de: Investigación Y Desarrollo, *Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000100007

«En la tabla anterior se evidencia que para la ejecución del proceso el pH para la extracción de pectina varía entre un mínimo de 2.12 y un máximo de 2.61, lo cual es un rango adecuado para la extracción ya que generalmente para este proceso el pH de la pectina se encuentra en un rango de 1,5 a 3. Por otro lado, la proporción de solvente en este caso ácido cítrico se encuentra en un rango mínimo de 18 mililitros y un máximo de 24 mililitros por cada gramo de materia prima. Finalmente se obtiene un tiempo de extracción de pectina entre 7 a 15 minutos para este método asistido por microondas, mientras que en el método convencional se necesita un tiempo entre 30 a 360 minutos.» [29]

A continuación, en la tabla 13 se evidenciará la comparación del rendimiento de ambos métodos bajo los parámetros óptimos de operación, donde también se observará las características del producto final obtenido mediante ambos métodos y los estándares normados para estas características.

Tabla 13.

Comparación del rendimiento y la calidad de los métodos HMO y convencional

Método	Valores Normados para Pectinas de Alto Metoxilo	Hidrólisis Ácida Convencional (este estudio)	HMO (este estudio)
pH		2,17	2,17
Proporción solvente:materia prima, mL:g		18:1	18:1
Temperatura		91 °C	91 °C
Tiempo de extracción, min		45	15
Rendimiento promedio		20,1 %	16,3 %
Porcentaje de AG promedio	> 65 % (FAO) > 74 % (USP)	77,4 %	62,4%
Porcentaje de Metoxilos promedio	> 6,8 % (pectinas de alto metoxilo)	8,4 %	6,7%

Nota. Comparación experimental del método convencional y el método por hidrólisis ácida asistida por microondas. Tomado de: Información Tecnológica, *Extracción rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis flavicarpa) empleando microondas.* <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100129>.

Por último, esta autora concluye que el método de extracción por microondas hace posible el ahorro de energía en el proceso. [29] Adicionalmente, emplea un tiempo de proceso más corto, es

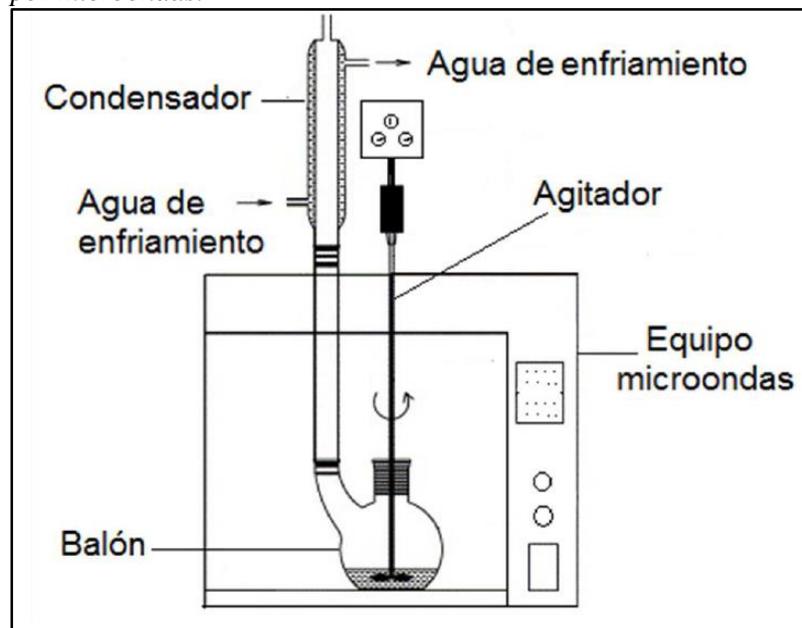
decir 30 minutos menos y genera un 3.8% menos de rendimiento promedio comparado con el método convencional.

Sin embargo, “a pesar de generar ahorro significativo de energía en el proceso mediante el método asistido por microondas, es necesario el estudio del efecto de estas, sobre la estructura molecular de la pectina a diferentes potencias debido a que se podrían generar daños en la estructura y en las células de la materia prima.” [29]

Por otra parte, Urango [30] realiza “la extracción de pectina con 30 gramos de materia prima tomando diferentes soluciones de ácido clorhídrico (0.12, 0.18 y 0.24 N), potencias (600, 800 y 1000 vatios) y tiempos (60, 80 y 100 segundos), realizando un análisis estadístico de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia de 5% utilizando Statgraphics Centurion XV y se aplicó prueba de comparación de medias de Duncan” [30]. Este procedimiento se ejecutó utilizando el siguiente montaje para la extracción como se muestra en la figura 10.

Figura 10.

Esquema del equipo utilizado para la extracción de pectina asistida por microondas.



Nota. Equipos utilizado experimentalmente en el método HMO.

Tomado de: Información Tecnológica, *Extracción rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis flavicarpa) empleando microondas.*

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100129>.

Por otra parte, la tabla 14 muestra los porcentajes promedios de rendimientos obtenidos a las diferentes concentraciones y potencias ya mencionadas anteriormente, en donde «el proceso de extracción de pectina asistida por microondas que obtuvo mayor rendimiento fue el tratamiento de 100 segundos, potencia de 100 vatios y concentración de ácido clorhídrico de 0.24 N, es así como en estas condiciones el porcentaje de pectina húmeda obtenida fue del 68.73%, alcanzando un porcentaje de contenido de metóxilo de la pectina del 6.86%, es decir bajo grado de esterificación.» [30]

Tabla 14.

Rendimientos de la extracción de pectina mediante la variación de concentración de HCl, potencia y tiempo.

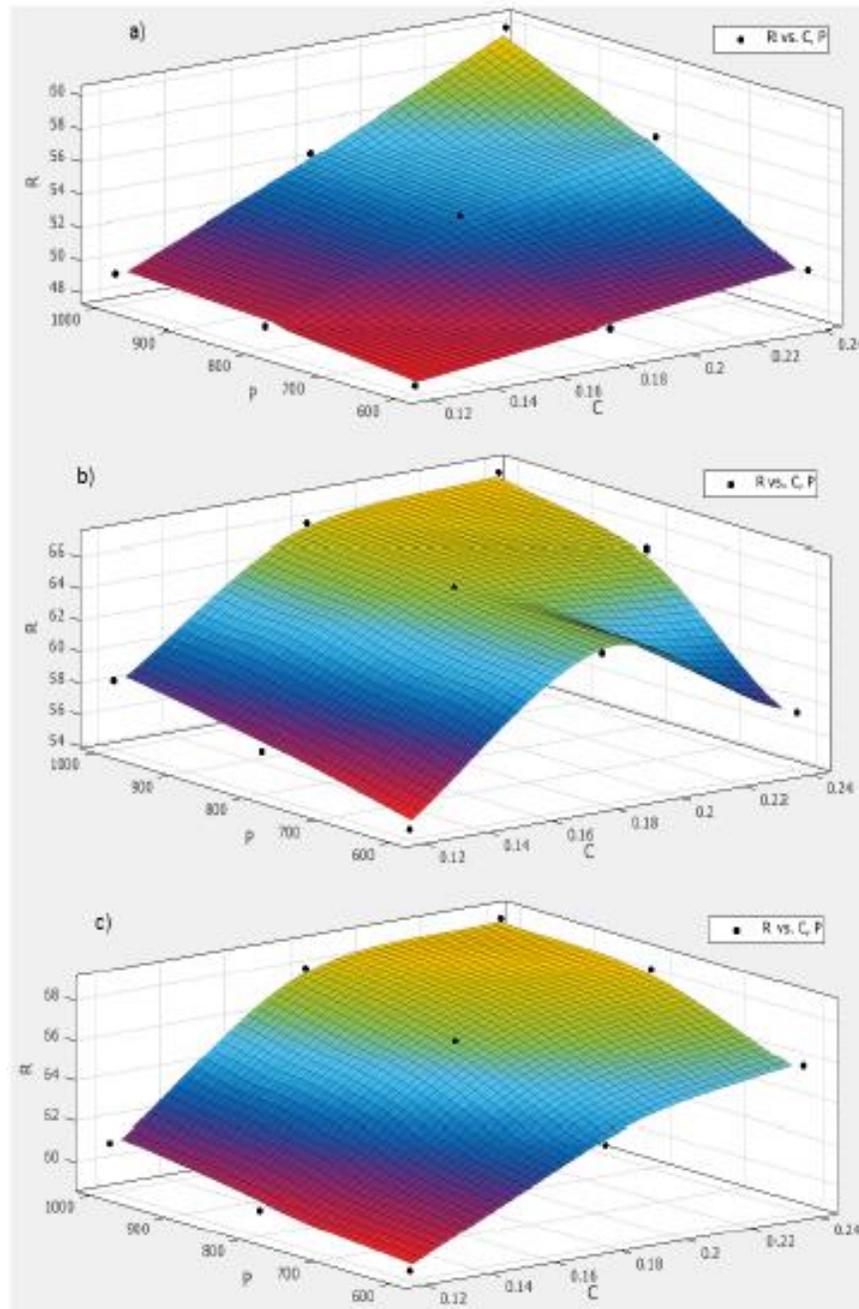
Concentración de HCl (N)	Potencia (Vatios)	Rendimiento en pectina (%p/p) ± desviación estándar		
		t=60 s	t=80 s	t=100 s
0,12	600	47,94 ^a ±0,54	54,47 ^e ±0,73	59,07 ^g ±0,44
	800	48,80 ^b ±0,61	56,57 ^f ±0,77	59,86 ^g ±0,38
	1000	49,23 ^c ±0,39	58,22 ^g ±0,43	61,02 ^{gh} ±1,22
0,18	600	49,30 ^c ±0,28	63,48 ^h ±0,24	63,64 ⁱ ±0,61
	800	53,34 ^d ±0,96	64,79 ⁱ ±0,34	66,52 ^k ±0,80
	1000	54,45 ^e ±0,28	65,91 ^j ±2,61	67,94 ^k ±0,86
0,24	600	50,75 ^c ±0,22	57,52 ^f ±0,86	65,79 ^k ±0,91
	800	56,11 ^f ±0,79	64,97 ⁱ ±0,39	68,41 ^k ±0,84
	1000	60,00 ^g ±0,33	66,93 ^k ±0,34	68,73 ^m ±0,30*

Nota. Rendimientos obtenidos experimentalmente en la extracción de pectina a diferentes condiciones. Tomado de: Información Tecnológica, *Extracción rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (Passiflora edulis flavicarpa) empleando microondas*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100129>.

Urango [30], en este trabajo y mediante la técnica de microondas estudio el rendimiento de pectina con un tiempo límite de 100 segundos, en donde los valores obtenidos de rendimientos en pectina oscilan entre 47.94 a 68.73% peso/peso (en base húmeda). Estos rendimientos son mayores a comparación con otras revisiones bibliográficas en donde los tiempos de extracción son altos y producen una disminución considerable en la calidad de pectina debido a su deterioro. A continuación, se dará a conocer en la figura 11 el rendimiento de la extracción de pectina a diferentes tiempos: a) 60 segundos, b) 80 segundos y c) 100 segundos, tomando como variables la potencia (P), la concentración del ácido (C) y el porcentaje de rendimiento de la pectina (R).

Figura 11.

Rendimiento en pectina (%p/p) a diferentes tiempos de extracción



Nota. a) 60 s, b) 80 s, c) 100 s. (P: potencia, C: concentración del ácido, R: porcentaje de rendimiento en pectina). (Los puntos indican datos experimentales). Tomado de: Información Tecnológica, *Extracción rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando microondas*. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100129>.

Para terminar, Urango [30] observó que “la concentración de solución de ácido clorhídrico, la potencia del microondas y el tiempo de hidrólisis tuvieron efecto estadístico significativo ($p < 0,05$) sobre el rendimiento de pectina de la cáscara de la materia prima.” [30]

3.5. Hidrólisis ácida asistida con ultrasonido-microondas (UMAE)

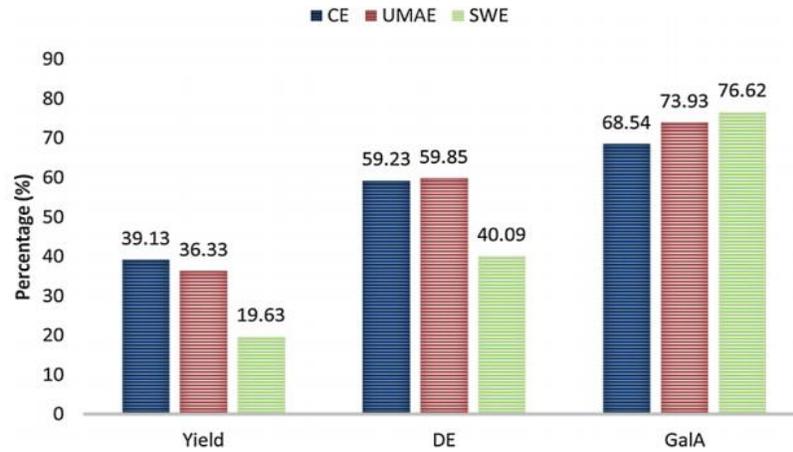
Esta última técnica consiste en exponer la muestra a los dos tratamientos previamente enunciados (ultrasonido y microondas). Se puede ejecutar de diversas maneras, una de ellas es realizar primero el ultrasonido y después la irradiación con microondas; la segunda opción es cambiar el orden y que el tratamiento con microondas sea el primero, finalmente la tercera opción es un equipo lo suficientemente avanzado donde los dos procesos se lleven a cabo.

Qin [31] realizó una comparación entre la extracción tradicional (CE o hidrólisis ácida), la extracción asistida con ultrasonido y microondas (UMAE) y la extracción con agua en estado subcrítico (SWE). En la extracción convencional se mezcló cáscara previamente secada y molida con agua destilada y se ajustó su pH con ácido cítrico hasta un valor de 1.8. Por otra parte, en la extracción UMAE, se usó una mezcla igual que la extracción convencional con la diferencia de que fue tratada con irradiación de ultrasonido el cual tenía una frecuencia de 40 kHz y posteriormente introducirla al horno que emite de microondas.

El último método de extracción no necesita ácido cítrico, el polvo de cáscara es introducido al equipo y el agua es bombeada a través del tanque de extracción (el equipo fue descrito previamente en el numeral 2.3). Qin y su equipo de trabajo discutieron el rendimiento, el grado de esterificación y el porcentaje de ácido galacturónico en la pectina resultante de cada método de extracción, sus resultados son descritos en la figura 12.

Figura 12.

Comparación de rendimiento, grado de esterificación y ácido galacturónico con diferentes métodos.



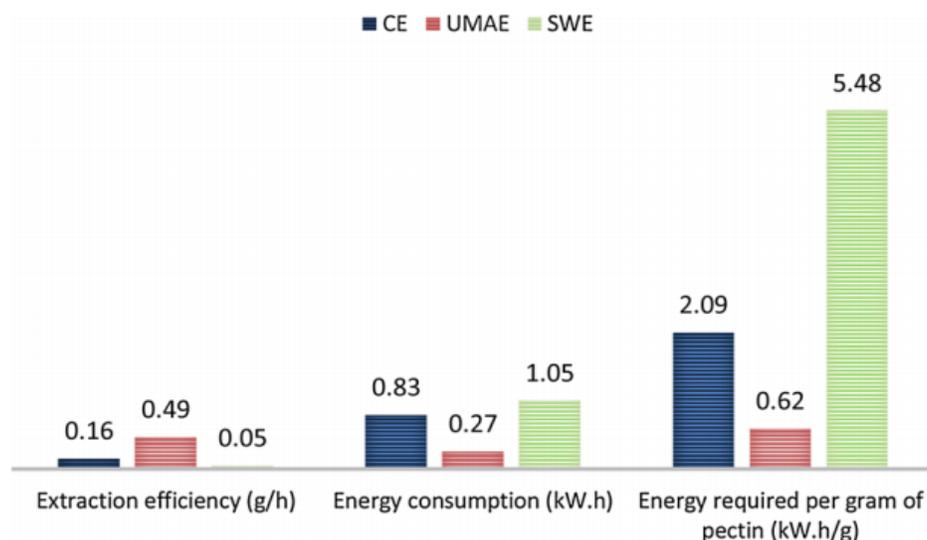
Nota. Grafico comparativo sobre algunos métodos de extracción de pectina porcentual. Tomado de: Chemical Engineering & Processing: Process Intensification, *Comparisons of process intensifying methods in the extraction of pectin from pomelo peel*.<https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107586>

El rendimiento más alto obtenido fue de la extracción convencional, similar al método UMAE, mientras que el método SWE presento un valor más bajo. Adicionalmente se evidencia que las pectinas obtenidas por el método CE y UMAE son de alto metoxilo debido a su alto grado de esterificación y finalmente se evidencia que el ácido galacturónico obtenido fue mayor en la extracción SWE, seguido por la extracción UMAE; Sin embargo, estos valores son similares.

Aunque el rendimiento de la extracción CE es ligeramente mayor al método UMAE, este último tiene un tiempo de extracción considerablemente menor. El método UMAE tiene un tiempo de duración de 27.5 minutos de ultrasonido y 6.4 de microondas para un total de tiempo de extracción de 34 minutos [31]. El método CE tuvo un tiempo de extracción total de 141.4 minutos.

Adicionalmente en la figura 13 se representa el comportamiento energético de los tres métodos comparados.

Figura 13.
Comparación de comportamiento energético con diferentes métodos.



Nota. Grafico comparative con diferentes metodos de extacción de pectina observando la eficiencia y el consumo energético Tomado de: Chemical Engineering & Processing:Process Intensification, *Comparisons of process intensifying methods in the extraction of pectin from pomelo peel.*
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107586>

De esta figura se deduce que en términos energéticos es mejor el método UMAE porque con menor cantidad de energía se obtiene mayor cantidad de pectina, siendo en la industria actual un aspecto cada vez más importante la eficiencia energética de un proceso. Por el otro lado, el método SWE consume demasiada energía para producir pectina y además no genera buenos rendimientos, este método no es recomendable [31].

Igualmente es necesario identificar que secuencia de tratamientos es mejor para el proceso, Qin en otro artículo [32] hace la comparación de los métodos ultrasonido, microondas, microondas/ultrasonido y ultrasonido/microondas. Todas las extracciones se llevaron a cabo a un pH de 1.8, tiempo de exposición al ultrasonido de 27.52 minutos, tiempo de irradiación a microondas de 6.4 minutos y una potencia del microondas de 643.44 vatios. Sus resultados se encuentran en la tabla 15.

Tabla 15.

Rendimiento, grado de esterificación y porcentaje de ácido galacturónico con diferentes métodos.

Extraction technique	Yield (%)	DE (%)	GalA (%)
Ultrasound	14.25 ± 0.49	64.40 ± 1.41	10.46 ± 1.07
Microwave	27.65 ± 0.90	64.11 ± 4.64	48.00 ± 1.30
Microwave- Ultrasound	30.50 ± 0.56	67.01 ± 5.29	74.92 ± 1.27
Ultrasound- Microwave	36.33 ± 0.99	59.85 ± 1.23	71.09 ± 1.27

Nota. Comparación de los metodos de hidrólisis ácida asistida por microondas y ultrasonido.

Tomado de: International Journal Of Biological Macromolecules, *Sequential ultrasound-microwave assisted acid extraction (UMAE) of pectin from pomelo peels.*

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.08.065>

Se evidencia que cuando los dos métodos se combinan dan mejores resultados según el rendimiento comparados con cada uno por separado (varían desde 14.25 y 27.65 a 30.50 y 36.33). Adicionalmente “al realizar la comparación de las secuencias de tratamientos el rendimiento aumenta cuando primero se realiza el ultrasonido y posterior la irradiación de microondas, como la mayoría de autores lo realizan en el método UMAE.” [32]

Por último, es necesario analizar los medios de transmisión y el solvente que se usa como agente extractor, Liu [33] propone usar además de agua pura y agua acidificada, usando un ácido de Brönsted como solvente, este tipo de ácidos son líquidos iónicos con distintos parámetros fisicoquímicos y que han tomado relevancia en los métodos de separación, por ejemplo, la separación de flavonoides, componentes volátiles entre otros. En esta extracción se usó 3-metil-1-(4-sulfunilbutil) imidazolio hidrogenosulfonato, de formula química $[\text{HO}_3\text{S}(\text{CH}_2)_4\text{mim}]\text{HSO}_4$.

Además del ácido de Brönsted, fue necesario un sistema de extracción Uwave-1000 donde se fijó un valor de frecuencia para el ultrasonido de 2450 Hz con una potencia de 50 vatios, la extracción convencional con la que se va a comparar el método del ácido de Brönsted con ultrasonido y microondas (BUME) fue realizada durante un tiempo de 180 minutos, con un pH de 2.5 y una relación liquido solido de 27 mililitros/gramo.

Adicionalmente se comparó con una extracción asistida con microondas [34] usando un líquido iónico como solvente (1-butil-3-metilimidazolio cloruro o $[\text{Bmim}]\text{Cl}$) y con tres extracciones

UMAE, diferenciadas por el solvente usado (agua pura, solución agua-ácido clorhídrico y solución agua-sulfato de sodio). Los resultados se presentan en la tabla 16.

Tabla 16.

Rendimiento con diferentes métodos.

Metodo	Solvente	Tiempo de extraccion (min)	Rendimiento de pectina (mg/g)
BUME	[HO ₃ S(CH ₂) ₄ mim]HSO ₄	15	328.64
CE	Acido clorhidrico	180	197.24
UMAE	Agua pura	15	90.50
UMAE	Acido clorhidrico	15	269.31
UMAE	Sulfato de sodio	15	84.71
Microondas	[Bmim]Cl	9.6	210.39

Nota. Tabla con diferentes metodos de extracción, solvent a diferentes tiempos de extracción y rendimiento de pectin. Tomado de: International Journal Od Biological Macromolecules, *Brønsted acidic ionic liquid based ultrasound-microwave synergistic extraction of pectin from pomelo peels.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.028>

La extracción convencional generó el menor rendimiento, si se omiten los resultados del método UMAE con agua pura y sulfato de sodio, sin embargo, es un rendimiento similar a la extracción asistida con microondas, por otro lado, lo que disminuye considerablemente es el tiempo de extracción, haciendo del proceso convencional el más lento y esto no es recomendable para escalar el proceso.

Otro aspecto relevante es que el solvente usado en el método UMAE afecta directamente el rendimiento del proceso, se evidencia que el agua pura y la solución con sulfato de sodio tienen rendimientos similares, pero al usar la solución de ácido clorhídrico este valor aumenta significativamente.

Finalmente, “al comparar el valor del rendimiento de la extracción BUME con los demás métodos se observa que aumenta 59.33 miligramo/gramo con respecto al segundo mejor valor (UMAE-ácido clorhídrico) indicando que es un proceso más eficiente, sin embargo, el uso de líquidos iónicos hace que el costo general del proceso aumente.” [33]

Para llegar a la conclusión de este capítulo es necesario realizar un análisis sobre todos los métodos mencionados, teniendo en cuenta diversas variables, como, eficiencia energética, rendimiento, tiempo del proceso y costos.

Inicialmente se descartó la extracción enzimática por los altos costos de la enzima a utilizar y teniendo en cuenta que el rendimiento varía según la enzima usada, dando validación experimental en la eficiencia del proceso.

Por otro lado, se evidenció que el método UMAE tiene mejores rendimientos que los métodos de ultrasonido y microondas cuando se realizan por separado, lo que descarta estos dos métodos. Adicionalmente, cuando se usan ambos métodos, es necesaria menos potencia en el microondas lo que se traduce a un menor gasto energético del proceso.

Finalmente, al comparar la hidrólisis ácida con el método UMAE se observa que tienen rendimientos similares en la mayoría de artículos, sin embargo, todos los autores concluyen que el tiempo de extracción se reduce considerablemente, haciendo más rápido el proceso, lo que es beneficioso para una producción a mayor escala. Además, como se muestra en la figura 12, la eficiencia energética es mayor en el método UMAE, lo que indica que con la misma cantidad de energía se obtiene menor cantidad de pectina con la hidrólisis ácida.

Para complementar el análisis y corroborar la correcta selección, se realizó una comparación de los métodos de extracción con ayuda de la metodología PUGH, la cual consiste en definir criterios de relevancia para el proceso con su respectiva ponderación. Posteriormente se procede a calificar numéricamente cada método de extracción con respecto a cada criterio.

Los criterios que se definieron para la selección del método de extracción son:

- **Rendimiento:** Cantidad de pectina obtenida expresada en mg pectina/g materia prima seca, este criterio es el que más peso toma en la matriz (29.41%).
- **Tiempo de extracción:** Hace referencia al tiempo que toma cada método para generar el mejor rendimiento. Este criterio toma un peso de 17.64%.
- **Insumos adicionales:** En este criterio se tiene en cuenta los reactivos e insumos necesarios para llevar a cabo el proceso, como ácidos, enzimas, entre otros. Este criterio tiene una ponderación de 17.64%.
- **Energía:** Este campo se refiere al consumo energético que tiene cada método de extracción, por ejemplo, el consumo del equipo de microondas o ultrasonido, el consumo de la agitación mecánica, el consumo en calentamiento, entre otros. Este criterio es el de menor importancia

con una ponderación de 11.76%.

- **Tecnología:** Este último criterio hace referencia a los equipos (Accesibilidad, mantenimiento y costo) necesarios para realizar la extracción. Tiene un peso en la matriz de 23.52%.

El peso de cada criterio se obtuvo dando una valoración de 1 a 5, siendo 5 una alta importancia y 1 una baja importancia. El criterio de rendimiento alcanzó una puntuación de 5, debido a que esta variable de respuesta provee información sobre la cantidad de pectina que se puede producir a partir de una cantidad específica de materia prima.

El segundo criterio calificado con un valor alto es la tecnología (4), ya que se tiene en cuenta los diferentes equipos para llevar a cabo el proceso con cada método de extracción, dependiendo su complejidad son de más difícil accesibilidad y más alto costo.

El tiempo de extracción y los insumos adicionales obtuvieron una valoración de 3, para dichos criterios se analiza la duración del proceso y los reactivos e insumos respectivamente. Por último, el criterio con valoración más baja es la energía gastada en cada método. Una vez se califica la importancia de todos los criterios se procede a hallar el porcentaje que representa cada uno, esto se realiza dividiendo la importancia de cada uno entre la suma de todas las calificaciones, como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17.
Peso de cada criterio.

Criterios	Importancia	Peso
Rendimiento	5	29,40%
Tiempo de extracción	3	17,60%
Insumos adicionales	3	17,60%
Energía	2	11,80%
Tecnología	4	23,50%
Suma	17	100,00%

Nota. Tabla de ponderación para los cinco criterios más relevantes en la extracción de pectina.

Una vez se tenga claro cada criterio y su importancia, se califica cada método de 1 a 5, siendo 5 la mejor puntuación en cada criterio, es decir, cumple o se adapta al criterio; por consiguiente 1 es la calificación más baja, indicando que no cumple con los estándares preferidos.

Tabla 18.
Método PUGH para selección del método de extracción.

Criterios	Peso	Métodos de extracción				
		Hidrólisis Ácida	Hidrólisis Enzimática	Hidrólisis Ácida asistida por ultrasonido	Hidrólisis Ácida asistida por microondas	Hidrólisis Ácida asistida por ultrasonido y microondas
Rendimiento	29,40%	4	2	4	4	5
Tiempo de extracción	17,60%	2	1	5	5	5
Insumos adicionales	17,60%	4	1	4	4	4
Energía	11,80%	3	4	4	4	5
Tecnología	23,50%	5	4	3	3	2
Suma		3,8	2,4	3,9	3,9	4,1

Nota. Tabla de ponderación a partir de los diferentes criterios para definir el mejor método de extracción de pectina.

Como se puede ver en la tabla 18, la extracción enzimática es la que obtiene una menor puntuación teniendo en cuenta la comparación con la hidrólisis ácida expuesta anteriormente (enzimática 12.41% y ácida 17.73%) [12]. Por otro lado, aunque el rendimiento entre hidrólisis ácida, hidrólisis ácida asistida con microondas e hidrólisis ácida asistida con ultrasonido es similar, puede variar dependiendo las condiciones de la extracción y la materia prima, causando aumentos o disminuciones en este valor, sin embargo, no es más del 3%. Finalmente se valora con 5 la extracción UMAE teniendo en cuenta la comparación realizada por Liu en la tabla 15 [33].

Para el tiempo de extracción se calificó con 5 los 3 últimos métodos mencionados ya que se maneja un rango entre 15 y 20 minutos, mientras que para la extracción mediante hidrólisis ácida maneja tiempos desde 30 a 180 minutos. Por otra parte, en la hidrólisis enzimática se usan tiempos mayores a 1 hora.

En el siguiente criterio se dio el mismo puntaje para todos los métodos menos el enzimático, ya que en este método el costo de los reactivos se eleva debido a la enzima, adicionalmente esta no es de fácil adquisición. Mientras que en los demás métodos solo es necesario utilizar como insumo el ácido que disminuye el pH del medio de extracción.

En lo que respecta al criterio energético, Chirivi reporta que “la extracción enzimática usa menos energía que la hidrólisis ácida ya que la temperatura a la que se trabaja es menor (40 y 80°C respectivamente)” [12]. Por otro lado, comparándola con el método UMAE Qin [32] en la figura 13 reporta que la eficiencia energética es menor en la hidrólisis ácida.

Por último, para el criterio de tecnología se tuvo en cuenta la complejidad y el costo de los equipos necesarios para realizar la extracción, siendo la hidrólisis ácida el método convencional esta obtuvo la puntuación más alta ya que no requiere de equipos complejos, mientras que el método UMAE al necesitar un equipo que emita ultrasonido y microondas obtuvo la valoración más baja (2).

Gracias al método PUGH se corrobora que la mejor alternativa es la hidrólisis ácida asistida con ultrasonido y microondas (UMAE) ya que esta obtiene la mayor calificación en la matriz. La diferencia entre los métodos que obtienen la segunda mayor puntuación y la extracción UMAE radica en el aumento del rendimiento y la reducción de consumo energético cuando se realizan los dos métodos juntos.

4. PLANTA PILOTO

4.1. Descripción del proceso

El inicio del proceso se da con la recepción de la materia prima, cáscara de gulupa en trozos de diferentes tamaños que proviene de una despulpadora industrial, una vez la materia prima llega a la planta piloto pasa por un proceso de lavado por inmersión, donde se busca eliminar impurezas y suciedades sumergiendo la corteza en agua, para esto se utiliza una marmita volcable.

Posterior al lavado se procede a realizar la inactivación de las enzimas pécticas presentes en la corteza por medio del escaldado, para esta operación se requiere una marmita y agua caliente, ya que la corteza tiene un alto porcentaje de humedad, la cantidad de agua caliente que ingresa a la marmita es cerca del 30% del peso de la alimentación [35] y se encuentra a temperatura de ebullición, para Bogotá es cerca de los 90°C. La cáscara dura en este equipo, 10 minutos [9]

El siguiente paso es reducir el tamaño de los trozos de cáscara debido a que al salir de la despulpadora estos tienen diferentes tamaños y algunos trozos son muy grandes, para esto se usa una licuadora industrial y se supone una merma del 1% que es consecuencia de la humedad en la corteza [36].

Para continuar con el proceso es necesario eliminar humedad de la corteza por lo que la corteza reducida de tamaño entra a un horno secador a 50°C hasta alcanzar una humedad del 9 a 10% [9].

Una vez se obtiene la materia prima seca se procede a realizar una segunda reducción de tamaño, esta vez en un molino de martillos el cual produce tamaños de partícula finos, esto se hace con el propósito de que se tenga un mejor contacto con el medio de extracción, para esta molienda también se propone una merma del 1% [36].

Para el medio de extracción se usa solución de agua con ácido cítrico para disminuir el pH hasta un valor de 2 [35], con una relación sólido-líquido de 1:10, es decir por cada kilogramo de materia prima seca se agrega 10 litros de solución, aunque previamente se dedujo que la mejor relación era de 1:30, este valor se traduce en altos costos de materia prima lo que eleva el valor del producto de valor agregado. La mezcla de la cáscara con la solución se realiza en un reactor Batch con agitación.

Una vez se obtiene la mezcla pasa al equipo de ultrasonido a 40 kHz [32] durante 25 minutos, posteriormente pasa al equipo de microondas donde se expondrá la muestra durante 15 minutos, para un tiempo total de extracción de 40 minutos.

El siguiente paso en el proceso es realizar una filtración de la cual la fase líquida se toma como el residuo del medio de extracción y la fase sólida es la alimentación a la precipitación, esta se realiza con etanol a concentración del 70%, la relación usada es de 4.5 mililitros de alcohol por gramo de materia prima en base seca [35]. El proceso de precipitación se realiza en el mismo reactor batch.

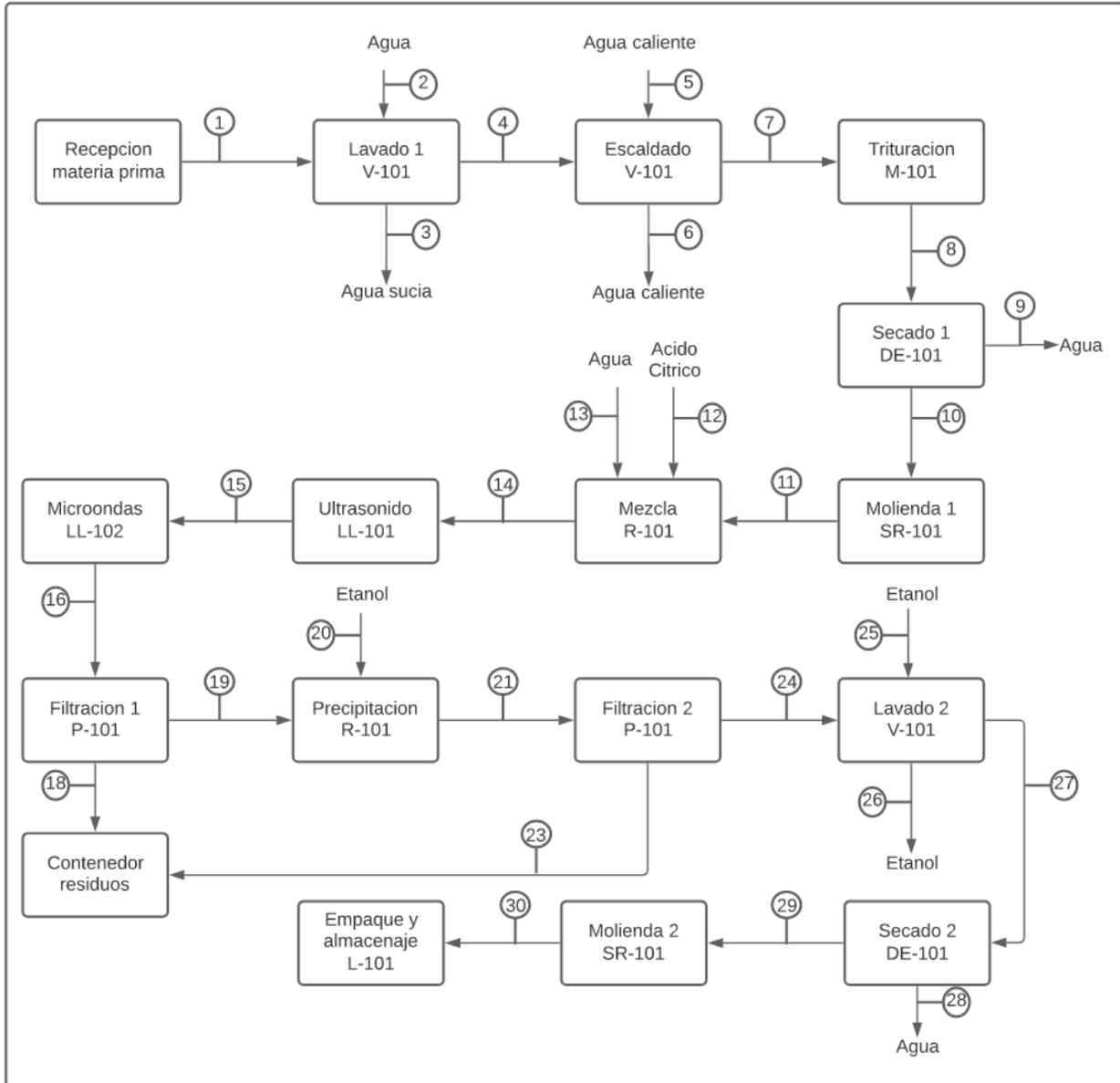
Después de finalizada la precipitación se procede a una segunda filtración para eliminar el exceso de etanol y obtener la pectina sólida. Para elevar la pureza del producto de interés se realiza un lavado con etanol, con una relación de 2:1 de etanol-materia prima.

La corriente de salida del lavado alimenta un horno secador para eliminar la humedad que se agregó con el medio de extracción y la precipitación, esta operación tiene una duración de 6 horas a 50°C [9]. Finalmente, al eliminar la humedad la pectina sólida toma forma de láminas delgadas irregulares las cuales es necesario moler para convertirlas en polvo, se realiza en el mismo molino de martillos previamente mencionado. Una vez finalizada la molienda la pectina está lista para ser empacada y almacenada.

A continuación, se evidencia el diagrama de bloques del proceso el cual define la organización necesaria del proceso internamente, sus entradas y sus salidas en la figura 14 y el diagrama PFD (anexo 1) el cual representa esquemáticamente el proceso anteriormente mencionado, su control básico y las condiciones de operación necesarias, teniendo en cuenta información organizada, concisa y clara de los pasos que compone el proceso a nivel de planta piloto.

Figura 14.

Diagrama de bloques del proceso de obtención de pectina a partir de cáscara de gulupa.

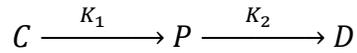


Nota. Diagrama BFD de la extracción de pectina, a partir de la corteza de gulupa a nivel planta piloto.

4.2. Reactor y tiempo de retención por equipo

La hidrólisis ácida asistida con ultrasonido y microondas es la parte más importante del proceso, es aquí donde se separa la pectina contenida en la cáscara para ser usada como insumo alimentario. Esta se realiza en diversos equipos, desde un reactor batch, pasando por el equipo de extracción

ultrasónica y finalmente por la irradiación de microondas. La reacción que ocurre es la siguiente [38]:



C = Cáscara de gulupa

P = Pectina

D = Productos de degradación

Una vez se realiza el análisis de las ecuaciones diferenciales de velocidad para las constantes cinéticas, se deduce que si el volumen de reacción es constante se obtiene la siguiente ecuación [38]:

$$P = C_0 * \frac{K_1}{K_2 - K_1} * (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t})$$

P = Cantidad de pectina obtenida a un tiempo t

B₀ = Cantidad inicial de cascara de gulupa

K₁ = Constante cinética de extracción de pectina

K₂ = Constante cinética de degradación de pectina

Con esta ecuación, conociendo las contantes cinéticas (K₁=0,007928 min⁻¹ y K₂=0,0389 min⁻¹) [38], definiendo un tiempo de extracción y conociendo la cantidad inicial de cáscara de gulupa de la cual se extraerá la pectina es posible conocer la cantidad de pectina que se obtendrá, cabe aclarar que la exactitud depende de las condiciones de la cascara usada en el estudio de Pagan y que tan similares son a las condiciones del presente proyecto.

Para seleccionar el tiempo de extracción se dieron diferentes valores a la ecuación previa obteniendo como resultado la tabla 19, se seleccionó un tiempo de 40 minutos, aunque no es la mayor cantidad de pectina obtenida la diferencia es pequeña mientras que el tiempo de extracción

aumentaría un 25% conllevando a un proceso más largo, teniendo en cuenta que los equipos de ultrasonido y microondas no tienen una gran capacidad.

Tabla 19.
Selección tiempo de extracción.

Tiempo (min)	Pectina obtenida (kg)
5	1,235357654
10	2,204349423
15	2,95592245
20	3,530299766
25	3,960525126
30	4,273734681
35	4,492203777
40	4,63420862
45	4,714735545
50	4,746064827
55	4,738251209
60	4,699519405

Nota. Tiempo de extracción seleccionado a partir de la cinética de reacción.

Los demás tiempos de retención por equipo se obtuvieron mediante revisión bibliográfica como se presenta en la tabla 20, la cual determina los tiempos necesarios en el proceso de escaldado, secado 1 y 2, y en el proceso de extracción por medio de los equipos de ultrasonido y microondas.

Tabla 20.
Tiempos de retención del proceso.

Tiempos de retención		
Proceso	Duración	Referencia
Escaldado	10 minutos	Higuera (2017). "Aprovechamiento De La Cascara De Gulupa Como Fuente De Pectina Para La Industria Alimentaria."
Secado 1	8 horas	Higuera (2017). "Aprovechamiento De La Cascara De Gulupa Como Fuente De Pectina Para La Industria Alimentaria."
Ultrasonido	25 minutos	Almeida (2017). "Diseño De Un Proceso Piloto De Extracción De Pectina Como Gelificante a Partir De Residuos De La Naranja."
Microondas	15 minutos	Almeida (2017). "Diseño De Un Proceso Piloto De Extracción De Pectina Como Gelificante a Partir De Residuos De La Naranja."
Secado 2	6 horas	Higuera (2017). "Aprovechamiento De La Cascara De Gulupa Como Fuente De Pectina Para La Industria Alimentaria."

Nota. Lista de los tiempos de duración en cada proceso para la extracción de pectina.

4.3. Balance de materia

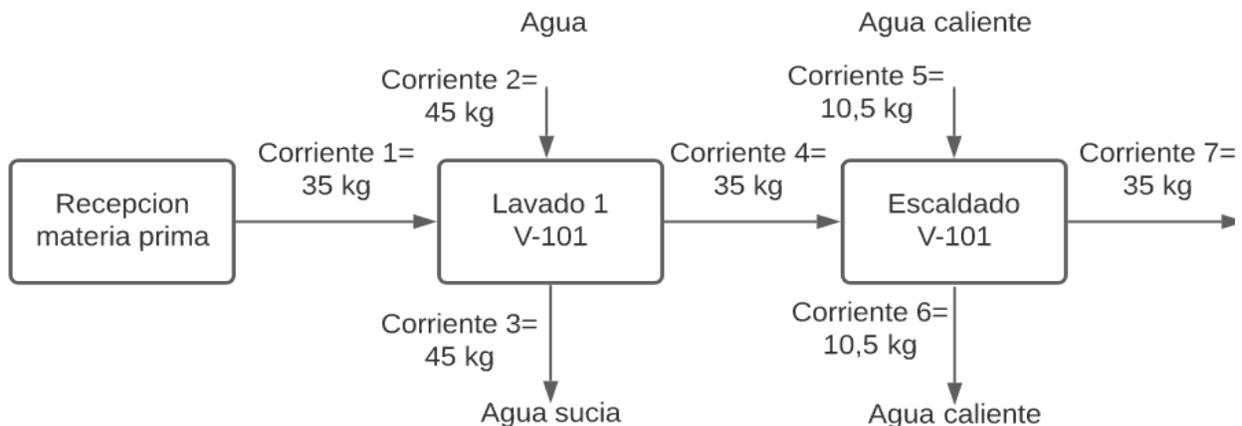
Para el balance de materia se tomó la cáscara resultante del 0.017% de la producción mensual de gulupa en el departamento de Cundinamarca en el año 2018 esto equivale a 35 kilogramos por cochada, a continuación, se presentará el balance de materia. Es de aclarar que el balance de materia se plantea de forma teórica, y no considera pérdidas en cada una de las operaciones.

4.3.1. Recepción de materia prima, lavado y escaldado

Para la primera parte del proceso se inicia con la recepción de la materia prima (35 kilogramos de cáscara de gulupa) la cual entra al lavado con agua a temperatura ambiente, en este caso se utilizan 10 kilogramos de agua con respecto a la materia prima (45 kilogramos de agua, corriente 2), la cantidad de impurezas eliminadas no cambia drásticamente el peso de la materia prima, por ende, la corriente 3 es igual a la corriente 2.

Al escaldado entra la corriente 4 (35 kilogramos de cáscara) y la corriente 5 (10.5 kilogramos de agua caliente), este último valor equivale al 30% del peso de la materia a escaldar. Una vez se inactivan las enzimas la corriente 6 y 7 salen con la misma cantidad de agua y materia prima que entraron a esta etapa como se muestra en la figura 15.

Figura 15.
Balance de materia

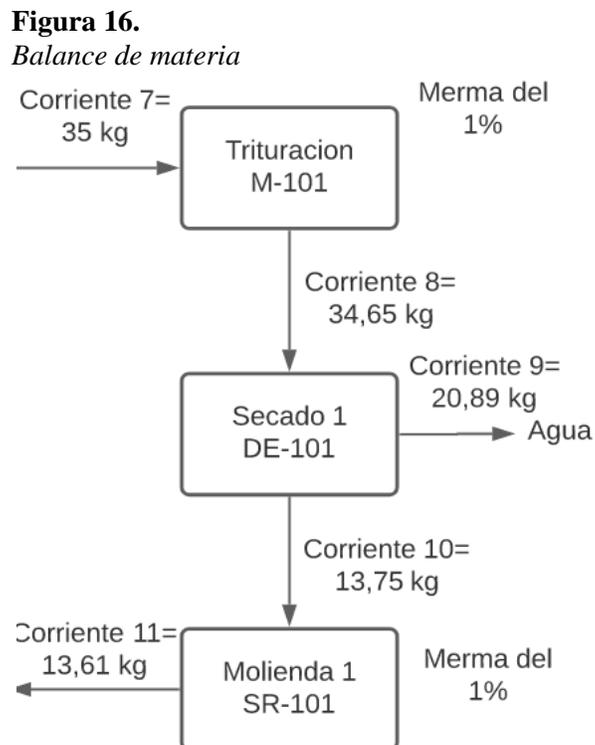


Nota. Cantidad de materia prima en kilogramos en cada corriente de entrada y salida de los procesos de lavado y escaldado

4.3.2. Trituración, secado 1 y molienda 1

En la segunda etapa de pretratamientos se homogeniza el tamaño de la cascara en la licuadora industrial donde se supone una merma del 1% por las partículas que quedan dentro del equipo debido a la adherencia en las cuchillas y las paredes del recipiente, por esta razón la corriente 8 es de 34.65 kilogramos.

En el secado se busca eliminar el 90% de la humedad contenida en la cáscara, la humedad inicial de la corteza es del 67%, es decir 23 kilogramos de la materia prima, al buscar eliminar el 90 % se evaporan 20.89 kilogramos de agua y por ende la corriente 10 es la materia prima en base seca (13.75 kilogramos), la siguiente corriente resultante de la molienda 1 es de 13.61 kilogramos teniendo en cuenta que se supuso una merma del 1% al igual que en la trituración, se evidencia en la figura 16.



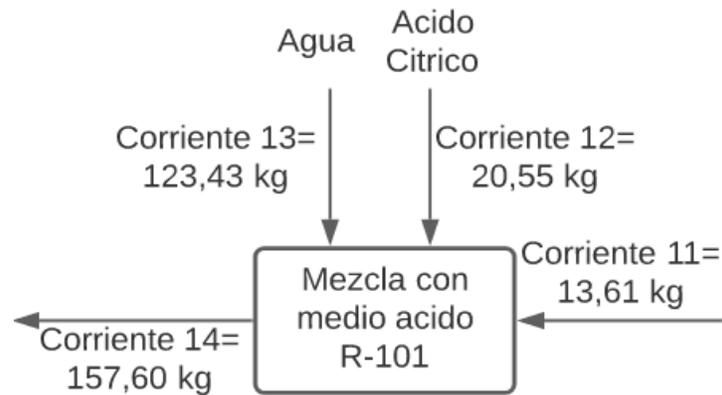
Nota. Cantidad de materia prima en kilogramos en cada corriente de entrada y salida de los procesos de trituración, secado y molienda.

4.3.3. Mezcla con medio ácido cítrico

Para la mezcla con el medio ácido se toma una relación solido-liquido de 1:10, es decir por cada kilogramo de materia prima seca se agrega 10 litros de solución, de este dato se obtienen los 123 kilogramos de agua y la respectiva cantidad de ácido cítrico para llevar el pH de la solución a 2 (20.55 kilogramos), como se muestra en la figura 17.

Figura 17.

Balace de materia

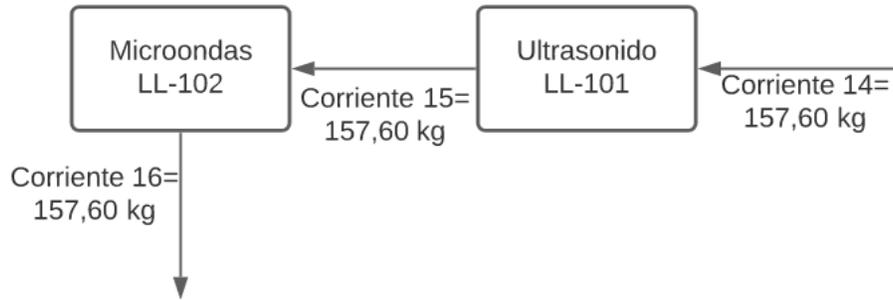


Nota. Cantidad de materia prima en kilogramos en cada corriente de entrada y salida, en la mezcla del medio ácido

4.3.4. Ultrasonido y microondas

Esta etapa, junto con la precipitación son las más importantes del proceso general, en donde en la figura 18 se evidencia la cantidad de producto saliente en la parte de extracción por el método de hidrólisis ácida asistida por microondas y ultrasonido, en estas etapas se supone una acumulación nula en cada equipo por lo que las entradas y salidas de cada equipo son de 157.6 kilogramos.

Figura 18.
Balace de materia



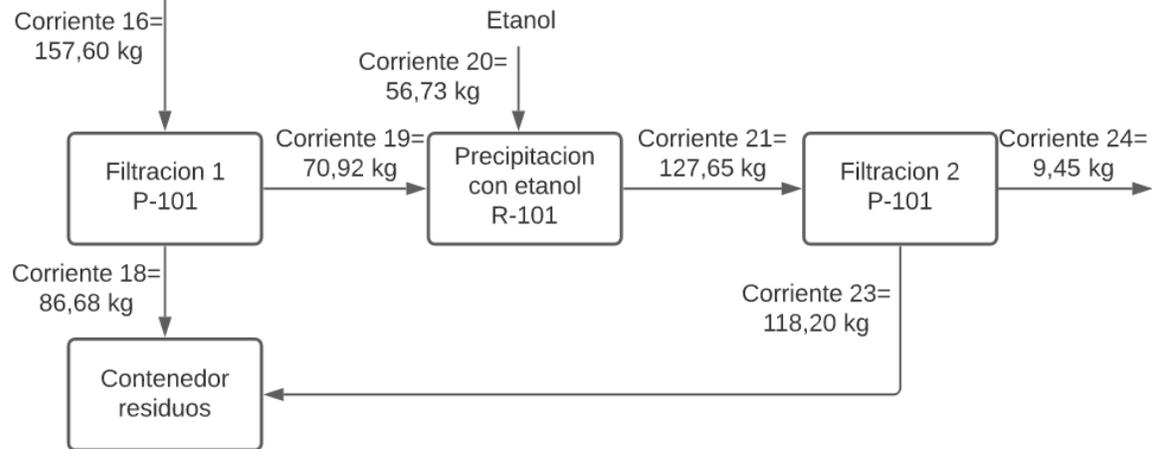
Nota. Cantidad de pectina en kilogramos en cada corriente de entrada y salida, de la extracción mediante ultrasonido y microondas.

4.3.5. Filtraciones y precipitación

Cabe aclarar que las corrientes 17 y 22 no se encuentran representadas en los diagramas de bloques debido a que son las corrientes de las bombas al filtro prensa, en el diagrama PFD si están representadas, estas bombas se usan para que la filtración rápida y efectiva, adicionalmente el tipo de bombas son centrifugas ya que llevan en su corriente solidos insolubles. Para la precipitación con etanol se adiciona en solución acuosa en concentración de 70% (volumen/volumen), como se muestra en la figura 19.

En la filtración 1 se separa el exceso de medio ácido que se agregó anteriormente, donde este medio se envía al contenedor de residuos (86.68 kilogramos), la fase sólida que absorbió parte del medio acidificado (70.92 kilogramos) pasa a la precipitación con etanol donde la pectina disuelta se decanta y queda lista para la siguiente fase, la relación de alcohol utilizada es de 4.5 mililitros por gramo de materia prima en base seca (56.73 kilogramos). Posteriormente a esta etapa sigue la segunda filtración donde se obtiene la pectina solida húmeda (7.43 kilogramos) y como corriente sobrante (120.22 kilogramos) el etanol previamente agregado y parte del medio ácido que no se eliminó en la primera filtración.

Figura 19.
Balance de materia



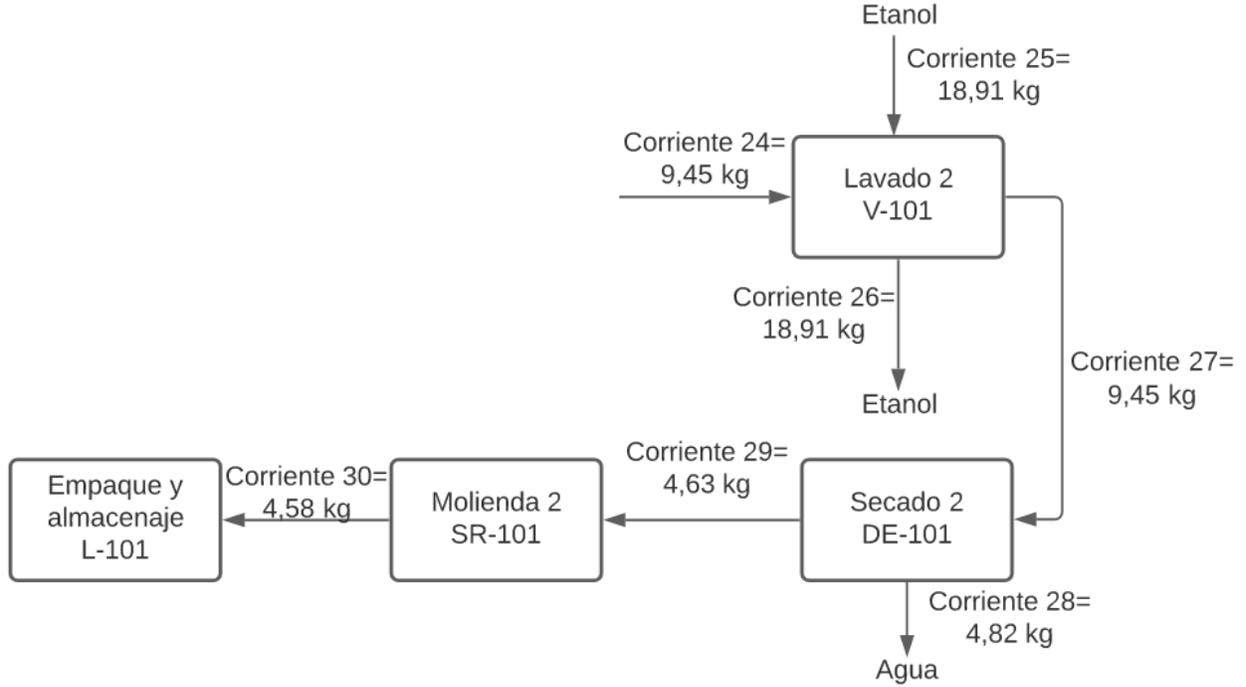
Nota. Cantidad de pectina y residuos en kilogramos en cada corriente de entrada y salida, de los procesos filtración 1, precipitación y filtración 2.

4.3.6. Lavado 2, secado 2, molienda 2 y empaque

La parte final del proceso inicia con un lavado de la pectina sólida con etanol esto con el objetivo de mejorar la pureza del insumo obtenido, la relación usada es de 2 kilogramos de etanol 70% por cada kilogramo de materia prima entrante al lavado (18.91 kilogramos de etanol y 9.45 kilogramos de pectina sólida húmeda). Para eliminar la humedad de la pectina se somete a otro secado donde se elimina el 100% de agua (4.82 kilogramos) y se obtienen láminas de pectina (4.58 kilogramos).

Debido a que la comercialización de la pectina es en forma de polvo la última operación es una molienda de las láminas obtenidas, suponiendo de nuevo una merma del 1% el producto final es de 4.5 kilogramos de pectina en polvo lista para el empaque y distribución.

Figura 20.
Balance de materia



Nota. Cantidad de pectina en kilogramos en cada corriente de entrada y salida, en los procesos de lavado 2, secado2 molienda 2, empaque y almacenaje.

4.3.7. Resumen balance de materia

A continuación, en la tabla 21 se presenta la cantidad en kilogramos de cada una de las corrientes y se resumen las principales características de cada una.

Tabla 21.
Resumen balance de materia

Corriente	Cantidad (kg)	Composición/Descripción
1	35,00	Alimentación de cáscara de gulupa en trozos de diferentes tamaños a
2	45,00	Alimentación de agua fría a temperatura ambiente.
3	45,00	Salida de agua a temperatura ambiente con impurezas.
4	35,00	Alimentación de la cáscara de gulupa previamente lavada.
5	10,50	Alimentación de agua caliente a la marmita a 90°C.
6	10,50	Salida de agua caliente de la marmita a 90°C.
7	35,00	Entrada de la corteza de gulupa previamente pretratada a la licuadora industrial, tomando una merma de 1%.
8	34,65	Salida en trozos de la corteza de gulupa, suponiendo una merma del 1%, debido a la humedad y entrada al horno de secado a 50°C.
9	20,89	Salida del agua eliminada por el horno de secado.
10	13,75	Salida de la corteza de gulupa seca del horno alcanzando una humedad del 9 al 10% y entrada al molino de martillos.
11	13,61	Salida de la cáscara de gulupa del molino de martillos en partículas finas, se propone una merma del 1% y entrada al reactor batch.
12	20,55	Entrada de ácido cítrico al reactor batch, para la disminución del pH de la cáscara de gulupa a 2 con una relación 1:10.
13	123,43	Entrada de agua al reactor batch, para generar un mezcla de solución junto al ácido cítrico previamente mencionado.
14	157,60	Salida de la mezcla con solución ácida del reactor al equipo de ultrasonido a 40kHz durante 20 minutos.
15	157,60	Salida de la mezcla con solución ácida del ultrasonido al equipo de microondas durante 10 minutos.
16	157,60	Salida de la extracción de ultrasonido y microondas al filtro prensa.
18	86,68	Salida de los residuos líquidos del filtro prensa al contenedor de residuos.
19	70,92	Salida del filtro prensa de la fase sólida a el reactor batch.
20	56,73	Entrada de etanol al 70% al reactor batch, para la precipitación con una relación de 4.5 ml de alcohol por gramo de materia prima.
21	127,65	Salida del producto precipitado al filtro prensa, eliminando el exceso de etanol.
23	118,20	Salida de los residuos líquidos del filtro prensa al contenedor de residuos.
24	9,45	Salida del filtro prensa de la fase sólida a la marmita.
25	18,91	Entrada del etanol a 70% a la marmita, para el lavado con una relación 2:1 de etanol-materia prima.
26	18,91	Salida del etanol a 70% de la marmita.
27	9,45	Salida del lavado que alimenta el horno de secado a 50°C durante 12 horas.
28	4,82	Salida del agua eliminada por el horno de secado.
29	4,63	Salida de la pectina seca del horno.
30	4,58	Salida de la pectina en polvo para ser posteriormente empacada y almacenada.

Nota. Resumen del balance de materia por corriente en el proceso de extracción de pectina a partir de la corteza de gulupa.

De acuerdo al balance de materia anteriormente descrito se obtiene 4.50 kilogramos de pectina, alcanzando un rendimiento de 36.04 gramos de pectina/kilogramos de base seca por cochada. Según Qin [32] a menores pH (entre 1,8 a 2), se encuentra mayor rendimiento en la pectina, donde los rendimientos varían desde 14.25 y 27.65 a 30.50 y 36.33 gramos de pectina/ kilogramos de base seca. Es así como la pectina obtenida en el balance de materia se encuentra en el rango

anteriormente descrito, generando uno de los mayores rendimientos en pectina que se puede utilizar en la industria.

4.4. Equipos

4.4.1. Marmita

Para el proceso de lavado y escaldado se dará uso a una marmita volcable MV100 de la empresa Citalsa como se muestra en la figura 21, la cual tiene una capacidad de 100 litros, dimensiones de 1208 x 1235 x 2000 mm (AxLxH). Para el lavado se usará agua a temperatura ambiente de Bogotá con el propósito de eliminar impurezas y suciedades de la cascará de gulupa, por otra parte, para el escaldado se usará agua caliente para inactivar las enzimas pecticas de la corteza.

Figura 21.
Marmita volcable MV100



Nota. Se utiliza para los procesos de lavado y escaldado. Tomado de: <https://citalsa.com/marmita-volcable-a-vap-con-agitador-citalsa-mv100>

4.4.2. *Licuada industrial*

Para la primera trituración se utilizará una licuadora industrial con capacidad de 50 litros (figura 22) de la empresa Exhibir equipos, este equipo está hecho con acero inoxidable de vaso abatible y con drenaje. Esto se hace para reducir el tamaño de la cáscara a trozos uniformes para ingresar al horno.

Figura 22.
Licuada industrial Exhibir Equipos.



Nota. Se utiliza para la trituración de la materia prima. Tomado de:
<https://exhibirequipos.com/producto/licuadora-x-industrial-50-litros/>

4.4.3. *Horno*

En las etapas de secado del proceso se usará un horno DM-2 el cual se expone en la figura 23 comercializado por la empresa Canmax el cual consta de un volumen de 1.5 m³ y alcanza temperatura máxima de 80°C. Tanto en el secado de la cáscara molida como en el secado de la pectina sólida se usará el mismo equipó.

Figura 23.
Horno secador DM-2



Nota. Se utiliza para eliminar la humedad de la materia prima y la pectina. Tomado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/factory-directly-vacuum-wood-drying-kiln-kiln-dryer-heat-drying-chamber-prices-for-sale-in-philippines-50041886551.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.7244156bk99chkMolino

De acuerdo con Almeida [35], en esta operación se necesita un molino de bolas, que garantice un producto fino, pero debido a su alto costo se optó por un molino de martillos, en específico el molino de martillos Granulex DFZP, comercializado por BUEHLER (figura 24), equipo que se puede obtener directamente en Bogotá. Este equipo se usará en la molienda previa a la mezcla con el medio de extracción y en la molienda final.

Figura 24.
Molino de martillos Granulex DFZP.



Nota. Se utiliza para la segunda reducción de tamaño de la corteza de gulupa. Tomado de: <https://www.directindustry.es/prod/buehler-group/product-68538-601343.html>

4.4.4. Reactor

Para la mezcla y el proceso de precipitación se usará un reactor batch (figura 25) con agitación, más específicamente el reactor LH-200L de la empresa Yangzhou Lianhe Chemical Machinery Co. Este cuenta con resistencias a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y una capacidad de hasta 200 L.

Figura 25.
Reactor batch con agitación.



Nota. Se usa en el proceso de hidrólisis ácida y en el proceso de precipitación de la pectina. Tomado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/china-batch-reactor-price-agitated-tank-reactor-fixed-bed-reactor-with-ce-62245689878.html?spm=a2700.md_es_ES.maylikeexp.1.3ea87f3bHW45Ar

4.4.5. Filtro prensa

Para los dos procesos de filtrado se usará un Filtro-prensa VR VM 500x500/40 de la marca Verlicchi, evidenciada en la figura 26. Este filtro tiene una superficie filtrante de 14.4 m² y capacidad de 42 litros. Este sistema funciona como filtración convencional.

Figura 26.
Filtro prensa.



Nota. Se usa para los procesos de filtración para la obtención de pectina. Tomado de:
<http://www.verlicchisrl.it/cat.asp?branch=84&L=f>

4.4.6. Equipo de Ultrasonido

Para la parte del ultrasonido se utilizará un equipo de extracción ultrasónico de escala piloto fabricado por la empresa TOPTION (figura 27), este cuenta con una capacidad de 20 litros, una potencia ajustable de ultrasonido desde 200 a 3600 W y tamaño de 69X59X69 cm. Se usa un equipo de baja capacidad debido a que al ser una planta piloto no es conveniente invertir en un extractor más grande porque se eleva su costo. Los precios para los extractores de 0.5, 5, y 20 litros son de 1000, 5000 y 11000 USD respectivamente. Aunque los equipos pequeños son de menos costo el tiempo del proceso aumentaría considerablemente aumentando el número de cochadas y el tiempo de carga y descarga, por ende, se selecciona el equipo de 20 litros.

Para recompensar el bajo volumen, se dará uso por cochadas, cada una de 20 litros, un total de 8 cochadas; Como se había mencionado anteriormente el tiempo de retención es de 20 minutos, es decir, para la totalidad de la producción se toma aproximadamente 3.5 horas contando los tiempos de carga y descarga de cada cochada.

Figura 27.
Extractor ultrasónico marca TOPTION.



Nota. Se utiliza para el proceso de extracción mediante ultrasonido. Tomado de: https://spanish.alibaba.com/product-detail/lab-pilot-industry-ultrasonic-extraction-machine-1-unit-customize-herbs-ultrasonic-extractor-for-cbd-oil-62447448662.html?spm=a2700.md_es_ES.deiletai6.3.5b8c7a16cHSNyW

4.4.7. Equipo de Microondas

El último equipo necesario para la extracción es un sistema de extracción de microondas, en específico se usará el de la marca HENTO, modelo HT-WB6C (figura28). De igual manera que con el equipo ultrasonido, se escoge un equipo de volumen pequeño donde se operará por lotes, eso con el objetivo de reducir costos iniciales de los equipos (el precio del equipo de 30,100 y 200 litros es de 5000, 11000 y 25000 USD), cada lote tendrá un tiempo de retención de 10 minutos, para un total de 2.5 horas teniendo en cuenta los tiempos de carga y descarga.

Este equipo cuenta con una capacidad de 30 litros, una potencia máxima de 6 kW y dimensiones de 1000*1000*1200 milímetros, la cámara interna está fabricada en acero inoxidable y la frecuencia del microondas es de 2450 Hz.

Figura 28.
Sistema de extracción asistido con microondas.



Nota. Equipo usado en la extracción de microondas, para la obtención de pectinaHento (2020). Tomado de: https://www.alibaba.com/product-detail/Factory-Direct-Sale-Microwave-EssentialOil_62007665130.html?spm=a2700.7724857.normalList.131.1c7b53a8d2EjPo

4.4.8. Empacadora

Para el empaqueo es necesario verificar los rendimientos obtenidos en la planta y demás condiciones que se proponen en el balance de materia, de igual manera se propone una empacadora en caso de que el balance se confirme. Se seleccionó la máquina de empaque marca SUNCHON (figura 29) fabricada en acero dulce, la cual cuenta con un rango de medición entre 15 y 800 ml, lo que implica que cada paquete del producto contiene 10 gramos de pectina en polvo, adicionalmente este equipo tiene una velocidad de envasado de 5 a 70 bolsas por minuto.

Figura 29.

Empacadora Sunchon



Nota. Equipo usado para empaclar la pectina debidamente pulverizada Tomado de: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/automatic-100g-500g-1kg-2kg-5kg-flour-detergent-powder-filling-packing-machine62103292878.?spm=a2700.7735675.normalList.9.a1be7451zCanIX&s=p&s=p>

4.5. Estimación Del consumo de Energía

Para los cálculos del consumo energético se recurrió a usar la potencia suministrada por las fichas técnicas de cada equipo descrito y se multiplico por el tiempo de operación de cada máquina en cada cochada. En la tabla 22 se presentan los resultados del consumo por cochada.

Tabla 22.
Consumo energético por máquina.

Equipo	Potencia (kW)	Tiempo de operación (h)	Consumo (kW h)
Marmita	0,74	0,25	0,19
Licuada industrial	3,73	0,03	0,12
Horno industrial	15,00	14,00	210,00
Molino	400,00	0,17	66,67
Reactor	2,00	0,17	0,33
Filtro prensa	1,00	0,17	0,17
Equipo de ultrasonido	0,20	4,17	0,83
Equipo de microondas	0,64	3,17	2,04
Empacadora	3,00	0,03	0,10
Bomba	2,00	0,17	0,33
Suma		20,983	280,217

Nota. Lista de equipos con su respectivo tiempo de operación y consumo energético.

Como se evidencia en la tabla 22 el consumo energético del proceso es aproximadamente 280.217 kW hora con un tiempo de operación total de 20.983 horas, las cuales serán administradas en 2 días de trabajo. Se concluye, que el consumo energético en la extracción de pectina por el método de ultrasonido y microondas (UMAE), no es muy elevado, ya que se tienen tiempos de retención y la operación es discontinua, lo cual beneficia el consumo energético, la inspección de los equipos y el tiempo de operación en el proceso.

5. COSTOS DE LA PLANTA PILOTO

En este capítulo se hallarán los costos generales de la planta piloto para procesar 35 kilogramos de cáscara de gulupa por lote, se presenta desde la inversión inicial hasta el costo de operación para la producción de la pectina.

5.1. Inversión inicial

La inversión inicial se refiere al costo de los equipos principales (tabla 23) anteriormente mencionados, los equipos auxiliares que apoyan la operación de los equipos principales, como es el caso de la bomba centrífuga que envía la mezcla al filtro prensa.

Tabla 23.

Precio de los equipos

Equipo	Precio (USD)	Fuente
Marmita	1155	Citalsa.com
Licadora Industrial	1528	Exhibirequipos.com
Horno Industrial	2000	Alibaba.com
Molino de martillos	3000	Directindustry.com
Reactor	8500	Alibaba.com
Filtro prensa	2000	Verlicchi.it
Equipo ultrasónico	11000	Alibaba.com
Equipo de microondas	5000	Alibaba.com
Empacadora	5000	Alibaba.com
Bomba centrífuga	600	Alibaba.com
Tanques de almacenamiento etanol	5500	Alibaba.com
Tanques de almacenamiento pectina	1000	Alibaba.com
Total	46283	-

Nota. Precios en dólares de los equipos utilizados, en el proceso de obtención de pectina.

Seguido a la inversión inicial es necesario considerar el sitio en donde estará ubicada la planta, cabe aclarar que la ubicación propuesta es en Cundinamarca, teniendo en cuenta que este es el tercer departamento en producción de gulupa. En la tabla 24 se presentan las dimensiones de cada equipo.

Tabla 24.
Dimensiones de los equipos.

Equipo	Dimensiones ancho.largo.alto (m)
Marmita	1,2 x 1,2 x 2
Licuada Industrial	0,5x 0,5 x 1,5
Horno Industrial	1,2 x 1,2 x 1,3
Molino de martillos	1,2 x 0,8 x 1,5
Reactor	0,7 x 0,7 x 1
Filtro prensa	1,8 x 0,5 x 0,6
Equipo ultrasónico	0,7 x 0,6 x 0,7
Equipo de microondas	1 x 1 x 1,2
Empacadora	0,8 x 1,2 x 1,29
Bomba centrifuga	0,43 x 0,21 x 0,37
Tanques de almacenamiento etanol	1 x 1 x 1
Tanques de almacenamiento pectina	0,5 x 0,5 x 1

Nota. Dimensiones en metros del largo, alto y ancho de los equipos.

Los equipos con su respectivo distanciamiento [37] requieren un espacio aproximado de 250 metros cuadrados, adicionalmente el espacio para bodega y oficina se deben tener en cuenta, por lo que se selecciona una edificación en el barrio Montevideo de Bogotá, la cual cuenta con un área de 555 metros cuadrados, y tiene un valor de arriendo mensual de 13500000 COP lo que equivale a 3626 USD.

5.2. Costo De Operación

Para la parte operacional se concluye que cada operación batch completa se realiza entre 22 y 24 horas dependiendo los tiempos de carga y descarga, la planta trabaja 8 horas 5 días de la semana (lunes a viernes), por lo que se tendrán 1 turno de jornada diurna, de 8 horas. De esta manera la materia prima procesada será de 350 kilogramos mensuales.

En la planta piloto se tendrán 2 trabajadores debido a que la carga máxima permitida por operario es de 20 kilogramos, al trabajar con 35 kilogramos de cáscara de gulupa en el inicio del proceso es necesario que sean dos trabajadores que se ocupen de la carga y descarga de equipos, además de su manipulación.

En las tablas 25, 26 y 27 se desarrolla el salario de cada operario, con sus respectivas cargas prestacionales.

Tabla 25.

Salario básico por operario.

NOMINA M.O.G					
			DEVENGADO		
	BÁSICO MENSUAL	DÍAS LIQUIDADOS	BÁSICO DEVENGADO	SUBSIDIO DE TRANSPORTE	TOTAL DEVENGADO
Persona 1	\$ 883.620	30	\$ 883.620	\$ 102.854	\$ 986.474
Persona 2	\$ 883.620	30	\$ 883.620	\$ 102.854	\$ 986.474
TOTAL	\$ 1.767.240		\$ 1.767.240	\$ 205.708	\$ 1.972.948

Nota. Devengado de los dos empleados que se necesitan para la operación de la planta piloto.

Tabla 26.

Seguridad social y prestaciones.

NOMINA M.O.G								
SEGURIDAD SOCIAL					PROVISIÓN			
SALUD		PENSIONES		ARL	PRIMA SERVICIOS	CESANTIAS	INTERESES CESANTIAS	VACACIONES
Empleador	Empleado	Empleador	Empleado	Empleador				
\$ 75.108	\$ 35.345	\$ 106.034	\$ 35.345	\$ 3.004	\$ 82.173	\$ 82.173	\$ 822	\$ 36.847
\$ 75.108	\$ 35.345	\$ 106.034	\$ 35.345	\$ 3.004	\$ 82.173	\$ 82.173	\$ 822	\$ 36.847
\$ 150.215	\$ 70.690	\$ 212.069	\$ 70.690	\$ 6.009	\$ 164.347	\$ 164.347	\$ 1.643	\$ 73.694

Nota. Seguridad social y provisión de los empleados de la planta piloto

Tabla 27.

Total a pagar por nómina.

TOTAL A PAGAR MES
\$ 1.372.636
\$ 1.372.636
\$ 2.745.272

Nota. Total a pagar por empleado

Siguiente a la nómina es necesario tener en cuenta el costo de las materias primas mensuales, en la tabla 28 se resumen los costos mensuales de materia prima a usar. El costo de agua de proceso (3601.86 COP/m³ de consumo y 17373.86 COP/m³ de cargo fijo mensual) se tomó de la tarifa dada por Acueducto y alcantarillado de Bogotá para el año 2020 en el sector industrial (cargo fijo + consumo), esta tarifa se encuentra en el anexo 2.

Tabla 28.
Costos insumos iniciales.

Materia prima	kg/Lote	kg/Mes	Valor/Mes
Cáscara	35,00	350,00	\$ -
Agua del proceso	178,93	1789,33	\$ 23.800
Etanol	71,61	716,12	\$ 3.955.121
Ácido cítrico	20,55	205,52	\$ 2.363.427
Empaques	7 unidades	210 unidades	\$ 16.000
Total			\$ 6.358.348

Nota. Lista de insumos y su respectivo costo.

Por otra parte, según la tabla 22 el consumo energético total, expresado en kW hora es de 280.779 por cochada. Cada cochada toma 2 días en ser completada, lo que indica que al mes se realizan 10 cochadas del proceso completo, el consumo mensual del proceso es de 2802.17 kW hora. La tarifa reportada por Enel Codensa para el año 2020 en el sector industrial sin contribución con propiedad compartida equivale a 516.0817 COP/ kW hora, esta tarifa se encuentra en el anexo 3. El costo del consumo de energía mensual es de 1449048 pesos colombianos.

$$2807.79 \text{ kW h} * 516.0817 \frac{\text{COP}}{\text{kW h}} = 1449048 \text{ COP}$$

5.3. Costo total

El costo total en dólares americanos es de 58666, en la tabla 29 se presentan todos los valores tomados en cuenta y así mismo su conversión a pesos colombianos, la tasa usada es la del mercado el día 12 de noviembre del 2020 (1 USD = 3664.05 COP).

Tabla 29.
Costo total.

Tipo de costo	Valor USD	Valor COP
Inversión inicial	\$ 46.283	\$ 168.657.566
Lote mensual	\$ 3.705	\$ 13.500.000
Operación		
Nomina	\$ 753	\$ 2.745.271
Insumos	\$ 1.806	\$ 6.581.500
Energia	\$ 398	\$ 1.449.048
Sobrecosto 10%	\$ 5.294	\$ 19.293.339
Total	\$ 58.239	\$ 212.226.724

Nota. Lista de costos totales en dolares y pesos Colombianos.

Para evaluar el precio de venta por kilogramo de pectina se tomó en cuenta los gastos mensuales (Lote mensual + costos de operación) y se comparó con la producción total de la planta en un mes (45.87 kilogramos de pectina). En base de estos dos resultados se encuentra que el precio por kilogramo para que los egresos sean iguales a los ingresos es de 529131 COP/kilogramo de pectina. Ver tabla 30.

Tabla 30.
Precio de venta

Costo mensual procesamiento (COP/mes)	Precio de Venta (COP/kg)	Ingresos (COP/mes)
\$ 24.275.819	\$ 529.131	\$ 24.275.819

Nota. Precio de venta de la pectina por kilogramo. .

Este valor de venta es más alto que el que se encuentra en el mercado por lo que si se quiere realizar la planta física es necesario realizar mejoras, por ejemplo, un sistema de recuperación de etanol para reutilizarlo en el proceso en vez de desecharlo después de un uso, encontrar un sector donde el arriendo mensual sea menor, optimizar las condiciones para obtener más pectina partiendo de la misma cantidad de cascara de gulupa, entre otros.

6. CONCLUSIONES

Se determinó que los pretratamientos más adecuados para la extracción que conllevan a un alto rendimiento de pectina en bajos tiempos, son el lavado con agua fría, el escaldado durante 10 minutos a 90°C, el secado en horno a 50°C y la reducción de tamaño en una licuadora industrial.

Teniendo en cuenta factores como el rendimiento, tiempo de extracción, insumos adicionales, eficiencia energética y complejidad tecnológica, se concluyó que el mejor método de extracción de pectina a partir de la cáscara de gulupa es la extracción por hidrólisis ácida asistida con ultrasonido y microondas (UMAE), método el cual reduce el tiempo de extracción a 40 minutos.

Se definió que las mejores condiciones para la planta piloto según la revisión bibliográfica son un pH de 2 para el medio ácido, un tiempo de ultrasonido de 25 minutos a 40 kHz y un tiempo de microondas de 15 minutos con una frecuencia de 2450 Hz. El proceso total se lleva a cabo en 2 días procesando por lote 35 kilogramos de corteza de gulupa.

Se estimó que los costos del proceso a escala piloto son 212226724 COP los cuales se derivan de la suma de la inversión inicial (168657566 COP), el espacio físico donde se ubicara la planta (13500000 COP/mes) y los costos de operación (10775819 COP/mes).

Aunque la tecnología UMAE es nueva y actualmente no se tiene mucha información, se identificó que disminuye significativamente el tiempo de extracción (de 8 horas a 40 minutos), brindando buenos rendimientos similares al método convencional, lo que posiciona a esta técnica como un tema de estudio e implementación en el futuro.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Peñaranda,L., S. Montenegro and P. Giraldo, (2017). "Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia." *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*. Available: <https://doi.org/10.22490/21456453.2040>.
- [2] Posada Quintero,E. R., .2019."Evaluación De La Incidencia Del Método De Extracción En Las Propiedades Fisicoquímicas Y Reológicas De Pectina Obtenida De La Cáscara De Curuba (*Passiflora Mollisima*) ." Universidad de La Salle.
- [3] J. Ocampo Perez *et al*, "Diversity of Colombian Passifloraceae: biogeography and an update list for conservation." *Http://Www.Redalyc.Org/Articulo.Oa?Id=49180101*, vol. 8, 2007.
- [4] Bonilla Morales,M. M., A. C. Aguirre Morales and O. M. Agudelo Varela, (Marzo,2015)."Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies." *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*.
- [5] Cámara de Comercio de Bogotá, *Manual Gulupa*. Bogotá, Colombia: 2015.
- [6] Castilla,J., (Julio,2019)." La exportación de gulupa superó las 8.109 toneladas y 2.013 hectáreas sembradas." *Agronegocios*. Available: <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-exportacion-de-gulupa-supero-las-8109-toneladas-2881324>.
- [7] J. Ocampo Perez and K. Wyckhuys, "Técnoología para el cultivo de la Gulupa en Colombia (*Passiflora edulis f. edulis Sims*) Purple Passion Fruit," Marzo, 2012.
- [8] N. M. Orjuela Baquero *et al*, "Manual de manejo poscosecha de la gulupa (*passiflora edulis sims*)," in *Manual De Manejo Poscosecha De La Gulupa (Passiflora Edulis Sims)*Anonymous Dykinson, Bogotá, Colombia: 2017, pp. 22.
- [9] Higuera Mora,M. C., .2017."Aprovechamiento De La Cascara De Gulupa Como Fuente De Pectina Para La Industria Alimentaria." Universidad de La Salle.
- [10] Pinzon, Ingrid Monica del Pilar, G. Fischer and G. Corredor, (2007)."Determinación de los estados de madurez del fruto de la gulupa (*Passiflora edulis Sims*)." *Agronomia Colombiana*. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a10.pdf>.
- [11] R. Codony Salcedo, "Química y bioquímica de los alimentos II," 2004.
- [12] Chiriví Torres,N. and G. J. Palencia Suarez, .2019."Evaluación Del Proceso De Obtención De Una Biopelícula Utilizando Pectina Extraída Enzimáticamente De La Cáscara De Naranja Valenciana." Fundacion Universidad de América
- [13] García Montoya,C. and C. E. Penagos Gómez, .2011."El Entorno Comercial De La Pectina En La Industria Alimentaria Antioqueña." Escuela de Ingeniería de Antioquia EIA.

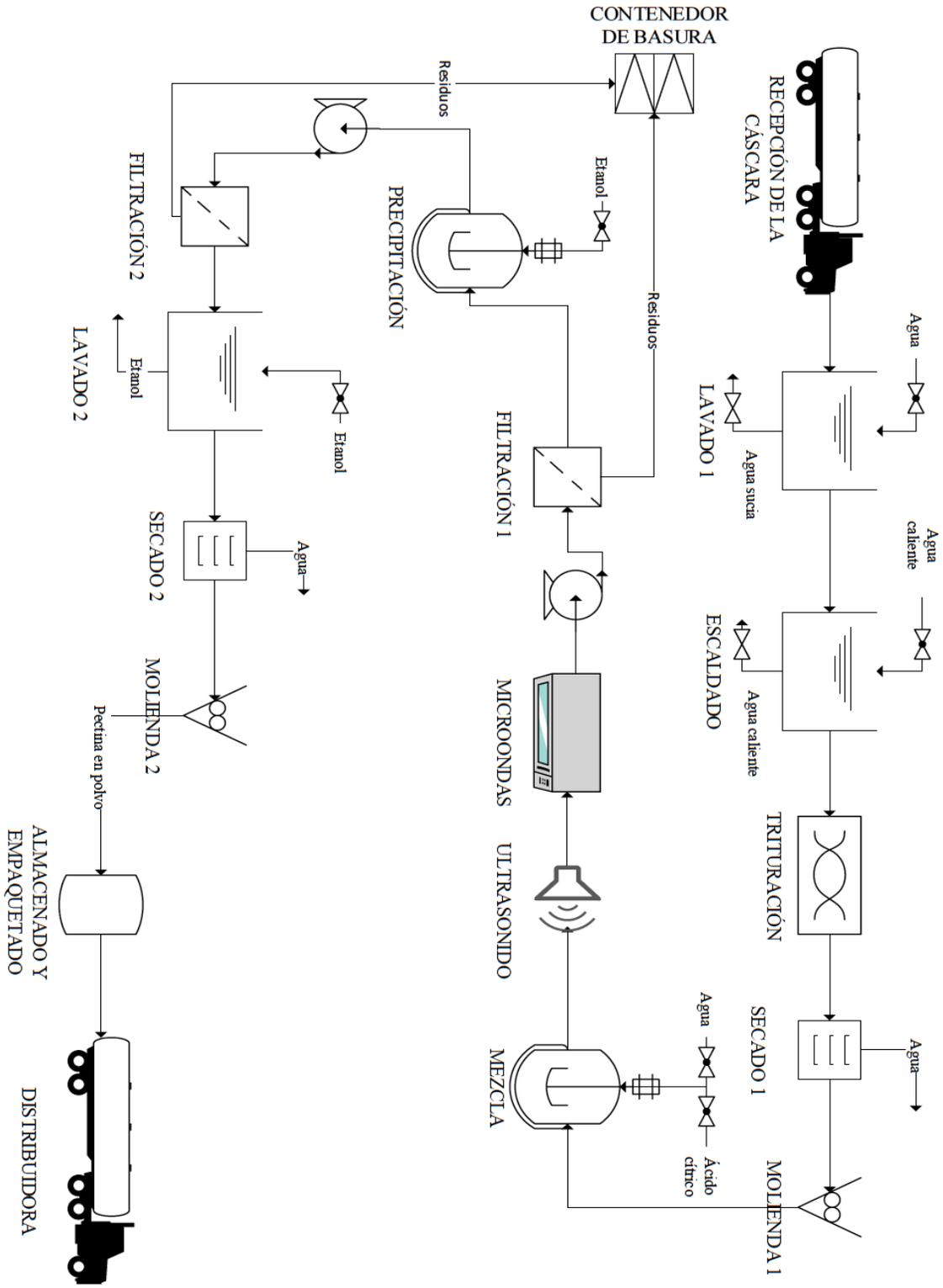
- [14] Stückerath,R., S. Méndez and C. Ibarra, 2002)."Comparación en la metodología de extracción de pectinas de bajo metoxilo por medio de agentes quelantes utilizando diferentes pretratamientos." *Revista De Tecnología E Higiene De Los Alimentos*. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=300586>.
- [15] Mendoza Vargas,L., J. Jimenez forero and M. Ramirez Nino, (Junio,2017)."Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cascarras del fruto de cacao (*Theobroma cacao L.*)." *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n1/v20n1a15.pdf>.
- [16] Arias Acevedo,H. A. and Tuiran Romero Hernando Jose, .2009."Obtención De Pectinas Cítricas a Base De Las Cascarras De Naranja Desechadas De Los Diferentes Puestos De Refresquerías De La Ciudad De Santa Marta." Universidad del Magdalena.
- [17] Taghi Gharibzahedi,S. M., B. Smith and Y. Guo, (Junio,2019)."Pectin extraction from common fig skin by different methods: The physicochemical, rheological, functional, and structural evaluations." *International Journal of Biological Macromolecules*. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.040>.
- [18] Aline de Moura,F. *et al*, (Diciembre,2019)."Partially hydrolyzed pectin extracted from passion fruit peel: Molar mass and physicochemical properties." *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. Available: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2019.100206>.
- [19] Qin,Z. *et al*, (Junio,2019)."Effect of drying pretreatment methods on structure and properties of pectins extracted from Chinese quince fruit." *International Journal of Biological Macromolecules*. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.209>.
- [20] Colodel,C. *et al*, (Junio,2018)."Extraction of pectin from ponkan (*Citrus reticulata* Blanco *cv. Ponkan*) peel: Optimization and structural characterization." *International Journal of Biological Macromolecules*. Available: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.048>.
- [21] Koubala,B. *et al*, (Julio,2007)."Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from “*Améliorée*” and “*Mango*” mango peels." *Food Hydrocolloids*. Available: 10.1016/j.foodhyd.2007.07.005.
- [22] Kulkarni,S. and P. Vijayanand, (Noviembre,2009)."Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis f. flavicarpa L.*)." *Food Science and Technology*.
- [23] J. Contreras Esquivel, L. Banda Reyes and J. Montañéz Saenz, "Extracción enzimática de pectina de mango," 2001.
- [24] Dolatowski,Z., J. Stadnik and D. Stasiak, 2007)."Applications of ultrasound in food technology." *Technologia Alimentaria*. Available: https://www.food.actapol.net/pub/8_3_2007.pdf.

- [25] Campo Vera, Y., D. C. Villada Castillo and J. D. Meneses Ortega, (Junio, 2016). "Efecto del pre-tratamiento con ultrasonido en la extracción de pectina contenida en el albedo del maracuyá (*Passiflora edulis*)." *Biotecnología En El Sector Agropecuario Y Agroindustrial*. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n1/v14n1a13.pdf>.
- [26] Hosseini, S. S. *et al*, (Marzo, 2019). "Optimization and characterization of pectin extracted from sour orange peel by ultrasound assisted method." *International Journal of Biological Macromolecules*.
- [27] Wang, M. *et al*, (Junio, 2016). "Characterization and functional properties of mango peel pectin extracted by ultrasound assisted citric acid." *International Journal of Biological Macromolecules*. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.011>.
- [28] Alvarez, A. and F. Burgos, .2012. "Comparación De Las Técnicas De Extracción De Pectina a Partir De La Cáscara De La Parchita Amarilla (*Passiflora Edulis F. Flavicarpa*)." Universidad Central de Venezuela.
- [29] Zegada, V., (Mayo, 2015). "Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)." *Investigación Y Desarrollo*. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000100007.
- [30] Urango, K. *et al*, (2018). "Extracción rápida de pectina a partir de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando microondas." *Información Tecnológica*. Available: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000100129>.
- [31] Qin, S. *et al*, (Junio, 2019). "Comparisons of process intensifying methods in the extraction of pectin from pomelo peel." *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*. Available: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2019.107586>.
- [32] Qin, S. *et al*, (Agosto, 2016). "Sequential ultrasound-microwave assisted acid extraction (UMAE) of pectin from pomelo peels." *International Journal Of Biological Macromolecules*. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.08.065>.
- [33] Liu, Z. *et al*, (Octubre, 2017). "Brønsted acidic ionic liquid based ultrasound-microwave synergistic extraction of pectin from pomelo peels." *International Journal of Biological Macromolecules*. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.10.028>.
- [34] Guolin, H. *et al*, (2012). "Application of ionic liquids in the microwave-assisted extraction of pectin from lemon peels." *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. Available: doi:10.1155/2012/302059.
- [35] Almeida, C., .2017. "Diseño De Un Proceso Piloto De Extracción De Pectina Como Gelificante a Partir De Residuos De La Naranja." Universidad Internacional SEK.

- [36] Alvarado, Y. and A. Muela, .2014. "Evaluación Física Y Económica De Las Mermas En La Producción De Alimentos Balanceados De La Empresa Granel S.A De C.V." Escuela Agrícola Panamericana.
- [37] PDSVA, "Separación entre equipos e instalaciones," Manual De Ingeniería De Riesgos, 1995.
- [38] Pagan, J., .1999. "Degradación Enzimática Y Características Físicas Y Químicas De La Pectina Del Bagazo De Melocotón." Universidad de Lleida

ANEXOS

ANEXO 1. DIAGRAMA PFD



ANEXO 2. TARIFAS ACUEDUCTO

CRRS EN COMERCIO

ESTRUCTURA TARIFARIA PARA LOS SUSCRIPTORES ATENDIDOS EN BOGOTÁ D. C. POR LA EMPRESA DE ACUEDUCTO TARIFAS ACUEDUCTO AÑO 2020



CARGO FLUJO \$/Suscritor/2 meses	CARRAS EN COMERCIO													
	dic-2019	ene-2020	feb-2020	mar-2020	abr-2020	may-2020	jun-2020	jul-2020	ago-2020	sept-2020	oct-2020	nov-2020	dic-2020	
R	4.009.30	4.009.30	4.130.38	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	
Estrato 1	4.009.30	4.009.30	4.130.38	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	4.009.30	
E	8.018.60	8.018.60	8.280.75	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	
Estrato 2	8.018.60	8.018.60	8.280.75	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	8.018.60	
Estrato 3	11.359.68	11.359.68	11.702.73	11.359.68	11.359.68	11.359.68	11.359.68	11.359.68	11.359.68	11.359.68	11.359.68	11.359.68	11.359.68	
S	13.384.32	13.384.32	13.767.92	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	
Estrato 4	13.384.32	13.384.32	13.767.92	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	
Estrato 5	29.936.08	29.936.08	30.840.14	29.936.08	29.936.08	29.936.08	29.936.08	29.936.08	29.936.08	29.936.08	29.936.08	29.936.08	29.936.08	
Estrato 6	36.618.24	36.618.24	37.724.10	36.618.24	36.618.24	36.618.24	36.618.24	36.618.24	36.618.24	36.618.24	36.618.24	36.618.24	36.618.24	
I	CONSUMO BASICO \$/m³	dic-2019	ene-2020	feb-2020	mar-2020	abr-2020	may-2020	jun-2020	jul-2020	ago-2020	sept-2020	oct-2020	nov-2020	dic-2020
D	Estrato 1	783.01	783.01	806.55	783.01	783.01	783.01	783.01	783.01	783.01	783.01	783.01	783.01	783.01
E	Estrato 2	1.566.02	1.566.02	1.613.11	1.566.02	1.566.02	1.566.02	1.566.02	1.566.02	1.566.02	1.566.02	1.566.02	1.566.02	1.566.02
N	Estrato 3	2.218.53	2.218.53	2.285.23	2.218.53	2.218.53	2.218.53	2.218.53	2.218.53	2.218.53	2.218.53	2.218.53	2.218.53	2.218.53
C	Estrato 4	2.610.04	2.610.04	2.688.51	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04
I	Estrato 5	4.045.56	4.045.56	4.167.19	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56
L	Estrato 6	4.306.57	4.306.57	4.436.04	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57
A	CONSUMO NO BASICO \$/m³	dic-2019	ene-2020	feb-2020	mar-2020	abr-2020	may-2020	jun-2020	jul-2020	ago-2020	sept-2020	oct-2020	nov-2020	dic-2020
I	Estrato 1	2.610.04	2.610.04	2.688.51	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04
A	Estrato 2	2.610.04	2.610.04	2.688.51	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04
N	Estrato 3	2.610.04	2.610.04	2.688.51	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04
C	Estrato 4	2.610.04	2.610.04	2.688.51	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04
I	Estrato 5	4.045.56	4.045.56	4.167.19	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56	4.045.56
L	Estrato 6	4.306.57	4.306.57	4.436.04	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57	4.306.57
C	CARGO FLUJO \$/Suscritor/2 meses	dic-2019	ene-2020	feb-2020	mar-2020	abr-2020	may-2020	jun-2020	jul-2020	ago-2020	sept-2020	oct-2020	nov-2020	dic-2020
COMERCIAL	20.046.48	20.046.48	20.651.88	20.046.48	20.046.48	20.046.48	20.046.48	20.046.48	20.046.48	20.046.48	20.046.48	20.046.48	20.046.48	20.046.48
INDUSTRIAL	17.373.62	17.373.62	17.898.30	17.373.62	17.373.62	17.373.62	17.373.62	17.373.62	17.373.62	17.373.62	17.373.62	17.373.62	17.373.62	17.373.62
OFICIAL	13.384.32	13.384.32	13.767.92	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32
ESPECIAL	13.384.32	13.384.32	13.767.92	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32	13.384.32
CONSUMO \$/m³	dic-2019	ene-2020	feb-2020	mar-2020	abr-2020	may-2020	jun-2020	jul-2020	ago-2020	sept-2020	oct-2020	nov-2020	dic-2020	
COMERCIAL	3.915.06	3.915.06	4.032.77	3.915.06	3.915.06	3.915.06	3.915.06	3.915.06	3.915.06	3.915.06	3.915.06	3.915.06	3.915.06	3.915.06
INDUSTRIAL	3.601.86	3.601.86	3.710.14	3.601.86	3.601.86	3.601.86	3.601.86	3.601.86	3.601.86	3.601.86	3.601.86	3.601.86	3.601.86	3.601.86
OFICIAL	2.610.04	2.610.04	2.688.51	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04
ESPECIAL	2.610.04	2.610.04	2.688.51	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04	2.610.04

Nota 1. Teniendo en cuenta que mediante el Decreto 417 del 17 de marzo de 2020 se declaró un estado de emergencia económica, social y ecológica en todo el territorio nacional, la EMAB-ESP con el fin de beneficiar a los usuarios decidió, el 19 de marzo de 2020, revertir el incremento tarifario del 3.02%, aplicado en las tarifas de febrero de los servicios de acueducto y alcantarillado para las facturas que se generaron a partir del 20 de marzo de 2020. Así mismo informa que una vez finalizado el periodo de la declaración de emergencia, los costos de referencia y tarifas serán actualizados con el 3.02% (Artículo 125 de la Ley 142 de 1994 y Artículo 58 de la Resolución CRA 688 de 2014). Se excluye de la actualización por PC los costos de referencia relacionados con el costo medio generado por tasas ambientales de acueducto con lo definido en el parágrafo 3 del artículo 58 de la Res. CRA 688 de 2014.

Nota 2. El factor de actualización por PC que será aplicado a los costos de referencia y a las tarifas una vez finalice el periodo de emergencia será del 3.02%.

Nota 3. Los costos de referencia y las tarifas fueron definidos mediante el Acuerdo de Junta Directiva de la EMAB-ESP No. 15 de 2019.

Nota 4. Las tarifas correspondientes a los cargos variables (básico y no básico) incluyen los costos medios de tasas ambientales.

Fecha actualización: 25-Julio-2020

ANEXO 3. TARIFAS ENEL CODENSA

TARIFAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA (\$/KWH) REGULADAS POR LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG) ENERO DE 2020

SECTOR RESIDENCIAL Y DEL TERCER SECTOR				ÁREAS COMUNES NIVEL DE TENSION 1			
ESTRATO (E)	RANGO DE CONSUMO (kWh/mes)	PROPIEDAD DE CODENSA (\$/KWH)	PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/KWH)	PROPIEDAD COMPARTIDA (*) (\$/KWH)	MODALIDAD (línea sencilla)	PROPIEDAD DE CODENSA (\$/KWH)	PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/KWH)
E1	0-25 (+)	218.1954	202.9981	210.5986	E1	535.3829	496.7804
	Más de CS	535.3829	496.7804	516.0817	E2	535.3829	496.7804
E2	0-25 (+)	272.7442	255.7478	265.2498	E3	535.3829	496.7804
	Más de CS	535.3829	496.7804	516.0817	E4	535.3829	496.7804
E3	0-25 (+)	455.0755	422.2833	438.6694	E3 y E6, Comercial y Comercial	642.4595	596.1365
	Más de CS	535.3829	496.7804	516.0817	E5	642.4595	596.1365
E4	Todo consumo	535.3829	496.7804	516.0817	E6	642.4595	596.1365
	Todo consumo	642.4595	596.1365	619.2900			
E5	Todo consumo	642.4595	596.1365	619.2900			
E6	Todo consumo	642.4595	596.1365	619.2900			

(+) CS: Consumo de Subsistencia

SECTOR INDUSTRIAL				SECTOR NO RESIDENCIAL					
INDUSTRIAL E INDUSTRIAL SIN CONTRIBUCION	INDUSTRIAL Y CONTRIBUCION	INDUSTRIAL EN CONTRIBUCION	INDUSTRIAL CON CONTRIBUCION	NIVEL 1 PROPIEDAD DE CODENSA (\$/KWH)	NIVEL 1 PROPIEDAD DEL CLIENTE (*) (\$/KWH)	NIVEL 1 PROPIEDAD COMPARTIDA (*) (\$/KWH)	NIVEL 2 (114 y 132 kv) (\$/KWH)	NIVEL 3 (94.5 kv) (\$/KWH)	NIVEL 4 (115 kv) (\$/KWH)
SHELLIA	Materia	535.3829	496.7804	496.7804	516.0817	516.0817	476.9654	395.8513	341.2724
	Punta	543.9300	505.3395	505.3395	512.8292	512.8292	434.2047	396.5608	342.8547
OPCIONES HORARIAS (**)	Fuera de Punta	532.1304	493.4279	493.4279	516.2980	516.2980	442.7799	382.3509	332.8331
	Materia	642.4595	596.1365	596.1365	619.2900	619.2900	511.8791	472.8216	400.5269
SHELLIA	Punta	642.4595	606.4002	606.4002	629.5618	629.5618	521.0546	472.2751	411.4266
	Fuera de Punta	638.5695	592.2395	592.2395	615.3950	615.3950	508.5399	458.7966	399.3997
INDUSTRIAL EN CONTRIBUCION	Materia	541.3082	502.7037	502.7037	522.0390	522.0390	431.8317	399.2260	341.8513
	Dinero	533.4659	494.8514	494.8514	514.1927	514.1927	474.9595	391.1104	339.1104
INDUSTRIAL CON CONTRIBUCION	Materia	640.1447	600.2444	600.2444	628.4080	628.4080	518.1900	479.0719	419.0719
	Dinero	640.1447	593.8217	593.8217	616.9832	616.9832	509.9514	469.3325	409.3325

COSTO UNITARIO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO -CU- (\$/KWH), Resolución CREG-119 de 2007

NIVEL	Generación (GmJ)	Transmisión (Tm)	Distribución (Dm)	Comercialización (Cm)***	Pérdidas (Pm)***	Restricción (Rm)	Cálculo (CmJ)
NIVEL 1	231.5980	33.8230	181.2888	47.8978	47.0427	-0,0854	536.3829
PROPIEDAD DE CODENSA	231.5980	33.8230	181.9876	47.8978	47.0427	-0,0854	516.0817
PROPIEDAD COMPARTIDA	231.5980	33.8230	142.6863	47.8978	47.0427	-0,0854	496.7804
PROPIEDAD DEL CLIENTE	231.5980	33.8230	102.1414	47.8978	47.0427	-0,0854	496.7804
NIVEL 2	231.5980	33.8230	102.1414	47.8978	47.0427	-0,0854	496.7804
NIVEL 3	231.5980	33.8230	63.8613	47.8978	10.9386	-0,0854	393.9513
NIVEL 4	231.5980	33.8230	22.8609	47.8978	5.3601	-0,0854	341.2724

7030.8613

HORAS DE APLICACIÓN OPCIONES HORARIAS POR NIVEL DE TENSION (MES CREG-29 DE 1997)				
Fecha	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
Punta	8:00-12:00 18:00-21:00	8:00-12:00 18:00-21:00	8:00-21:00	01:00-21:00
Fuera de Punta	00:00-8:00 12:00-18:00 21:00-24:00	00:00-8:00 12:00-18:00 21:00-24:00	00:00-8:00 12:00-18:00 21:00-24:00	00:00-8:00 12:00-18:00 21:00-24:00

(*) No incluye en el Cargo por Uso de nivel 1 (CU1) el componente de inversión (ICB1), conforme la Resolución CREC-497 de 2008.
 (***) Para la aplicación de las opciones tarifarias, se debe considerar con CODENSA S.A. CSP las indicaciones en los sistemas de medida del cliente que sean del caso.
 (*) El cumplimiento de la Resolución CREG 140 de 2014, artículo 24.
 - Por disposición de la Resolución UPME 0335 de 2004, para los usuarios localizados en edificios superiores o iguales a 1000 metros, el valor del Consumo de Subsistencia (CS) es 130 kWh/mes y en edificios menores a 1000 metros, el CS es 123 kWh/mes.
 - El cumplimiento de la Decisión 2307 de 2004, las empresas operadoras de empresas de generación y cliente deben, previa solicitud, solicitar con un factor de contribución de 10% el componente Cargo por Uso de Distribución (CU) con la respectiva contribución de inversión.
 - Según el artículo 4 de la resolución CREG 119 de 2007, modificada por la Resolución CREG 191 de 2014, el componente fig del costo unitario de prestación del servicio en igual a cero (0).

