

**Análisis de minería de texto en la obtención de pectinas a partir de biomasa residual
biodegradable para el desarrollo de bioplásticos innovadores**

Margie Alejandra Ripe Gutiérrez

Trabajo de grado para optar el título Magíster en Ciencias y Tecnologías Ambientales

Director(es)

Martha Cervantes Díaz

Magister en Química

Mario Alberto Barón

Doctor en Química

Kelly Navas

Doctora en Ingeniería Química

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales

2024

Dedicatoria

A mi esposo, por aligerar las cargas para hacer posible este sueño. Me motivaste, aclaraste mis pensamientos y suavizaste las dificultades en los momentos más caóticos, gracias por demostrarme tu amor y ayuda idónea.

A Guadalupe, mi orgullo y gran motivación, por impulsarme a ser cada día mi mejor versión, esto es por ti y para ti.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la sabiduría, paciencia y fortaleza para alcanzar mis objetivos. A mis padres, esposo, hija, suegra y cuñada por el apoyo incondicional, siempre impulsarme a ser mejor y ayudarme a cumplir este sueño.

A la profesora Martha Cervantes Díaz, por guiarme desde el primer día y encaminar mi desarrollo académico durante todos estos años, gracias por su entrega total, disposición, amor y comprensión. Por sus aportes y asesorías para la formulación y desarrollo de este proyecto.

A la profesora Kelly Navas por su orientación y asesoría en el desarrollo de este proyecto.

A la Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, a la Facultad de Química Ambiental, a la directora Lizeth Alvarado y a cada docente del programa de Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales, por permitirme desarrollar capacidades de investigación que permitieron llevar a cabo este proyecto.

A la Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga, por la financiación del proyecto a través de la convocatoria Fodein 2022. Proyecto: Producción de bioplásticos a partir de residuos frutales generados en el departamento de Santander. Acta No. 631 del 26/01/2022.

A la Unidad de Bibliometría del CRAI, Biblioteca Universidad Santo Tomás, seccional Bucaramanga.

Contenido

Introducción	12
1.1 Planteamiento del problema	14
1.2 Justificación.....	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
2. Marco referencial	17
2.1 Marco teórico	17
2.1.1 Bioeconomía.....	17
2.1.2 Pectina	18
2.3 Estado del arte	26
3. Método	31
3.1 Metodología de análisis y recolección de datos	31
4. Resultados y análisis	32
4.1 Minería de texto	32
4.1.1 Dinámica científica.....	33
4.1.2 Áreas de conocimiento	36
4.1.3 Análisis de co-ocurrencia de palabras clave.....	38
4.1.4 Revistas científicas	39
4.1.5 Análisis de impacto de los trabajos de investigación: citas	43
4.1.6 Distribución de publicaciones por países	44
4.2 Actividad inventiva	45

4.2.1 Dinámica de la actividad inventiva	46
4.2.2 Solicitantes de patentes.....	47
4.2.3 Distribución de patentes por jurisdicción	48
4.2.3 Distribución de patentes de acuerdo con el IPCR	49
4.3 Modelo de biorrefinería.....	51
4.3.1 Fuentes de biomasa en el departamento de Santander	51
4.3.2 Biorrefinerías de pectina.....	53
4.3.3 Modelo de biorrefinería de pectinas	57
4.3.4 Tendencias de mercado	63
5. Conclusiones	66
6. Recomendaciones	67
Referencias.....	68
Apéndices.....	102

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Propiedades fisicoquímicas de las pectinas</i>	20
Tabla 2. <i>Contenido de pectina obtenido a partir de fuentes agroindustriales y métodos de extracción.....</i>	21
Tabla 3. <i>Normas técnicas empleadas para evaluar las propiedades de los bioplásticos.....</i>	26
Tabla 4. <i>Alcance de revistas indexadas con mayor divulgación de investigaciones de obtención de pectinas a partir de biomasa residual.....</i>	41
Tabla 5. <i>Publicaciones relacionadas con la biorrefinería de pectina publicadas desde el 2013</i>	53
Tabla 6. <i>Características operativas de biorrefinerías de pectinas a partir de naranja.</i>	57
Tabla 7. <i>Tendencias de mercado de los productos de la biorrefinería de pectinas</i>	63

Lista de figuras

Figura 1. <i>Estructura básica de la pectina</i>	19
Figura 2. <i>Estructura de la pectina.</i>	19
Figura 3. <i>Diversas aplicaciones de la pectina en diferentes industrias</i>	24
Figura 4. <i>Documentos por año asociados con la obtención de pectina a partir de biomasa residual para el desarrollo de biopolímeros</i>	35
Figura 5. <i>Áreas de conocimiento más importantes relacionadas con investigación de pectinas durante el periodo de 2000-2024</i>	37
Figura 6. <i>Relación de las palabras clave de mayor co-ocurrencia asociadas con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual.</i>	39
Figura 7. <i>Revistas indexadas con mayor divulgación de investigaciones relacionadas con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual.</i>	40
Figura 8. <i>Tendencia de las citas relacionadas con la investigación de la obtención de pectinas a partir de biomasa residual para el desarrollo de biopolímeros</i>	44
Figura 9. <i>Documentos por países a nivel internacional donde se realiza investigación relacionada con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual con aplicaciones en biopolímeros.</i> ..	45
Figura 10. <i>Distribución por años del número de patentes concedidas y solicitadas por año en relación con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual</i>	47
Figura 11. <i>Solicitantes de patentes relacionadas con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual.</i>	48
Figura 12. <i>Distribución de patentes citadas por jurisdicción en relación con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual.</i>	49

Figura 13. *Clasificación de patentes por códigos IPCR relacionada con el aprovechamiento de pectina generada a partir de biomasa residual.* 51

Lista de apéndices

Apéndice A. <i>Alcance de revistas indexadas con mayor divulgación de investigaciones</i>	102
Apéndice B. <i>Principales cultivos del departamento de Santander.....</i>	108
Apéndice C. <i>Producción de cítricos en las provincias de Santander de acuerdo con las especies de cítricos.....</i>	109
Apéndice D. <i>Composición de los residuos sólidos generados en el Área Metropolitana de Bucaramanga</i>	110
Apéndice E. <i>Calculo para la generación de energía eléctrica basado en biogás.....</i>	111

Resumen

La contaminación producida por el uso de plásticos convencionales ha generado un aumento de investigaciones que buscan reducir su impacto ambiental a partir de alternativas sostenibles como es el caso de la generación de biopolímeros a base de pectina; empleada para el desarrollo de éstos gracias a sus propiedades físicas y reológicas. Esta investigación tuvo como objetivo analizar la tendencia en el desarrollo de bioplásticos innovadores a partir de pectinas extraídas de biomasa residual. Utilizando Scopus (Elsevier, B.V., 2024) como base de datos, se obtuvo 152 documentos publicados entre 2000 y 2024, evidenciando un interés creciente en esta investigación, desarrollada con mayor intensidad en el periodo 2020-2023, orientada a la extracción de pectinas de diferentes fuentes de biomasa entre las más representativas se encuentran residuos de cítricos, manzana y remolacha; su caracterización con base en propiedades como el grado de esterificación y aplicación en áreas de conocimiento como ciencias de materiales, ciencias agropecuarias y biológicas y química e industrias de alimentos, farmacéutica, medicina y ambiental. Para el análisis de la actividad inventiva se consultó Lens versión 9.0.10 (Cambria. (2022)), obteniendo 120 patentes, relacionadas según su clasificación IPCR con los métodos de extracción de pectina, aplicación en diferentes industrias sobresaliendo la industria de alimentos y farmacéutica. Finalmente, se propuso un modelo de biorrefinería de productos a partir del análisis cienciométrico, que emplea biomasa cítrica y de maracuyá en el departamento de Santander para obtener aceites esenciales, pectina y biogás como productos de alto valor, beneficiando la economía local y promoviendo la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: bioeconomía, bioplásticos, biorrefinería, cienciometría, pectina, valorización de residuos

Abstrac

The pollution produced using conventional plastics has generated an increase in research that seeks to reduce their environmental impact from sustainable alternatives such as the generation of pectin-based biopolymers, used for the development of these thanks to their physical and rheological properties. This research aimed to analyze the trend in the development of innovative bioplastics from pectins extracted from residual biomass. Using Scopus (Elsevier, B.V., 2024) as a database, 152 documents published between 2000 and 2024 were obtained, evidencing a growing interest in this research, developed with greater intensity in the period 2020-2023, aimed at the extraction of pectins from different biomass sources, among the most representative are citrus, apple and beet residues; its characterization based on properties such as the degree of esterification and application in areas of knowledge such as materials sciences, agricultural and biological sciences and chemistry and food, pharmaceutical, medical and environmental industries. For the analysis of inventive step, Lens version 9.0.10 (Cambria. (2022), obtaining 120 patents, related according to its IPCR classification with pectin extraction methods, application in different industries, highlighting the food and pharmaceutical industry. Finally, a product biorefinery model was proposed based on scientometric analysis, which uses citrus and passion fruit biomass in the department of Santander to obtain essential oils, pectin and biogas as high-value products, benefiting the local economy and promoting environmental sustainability.

Keywords: bioeconomy, bioplastics, biorefinery, pectin, scientometrics, waste valorization

Introducción

Actualmente, existe la preocupación por encontrar alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente lo que impulsa la prospección de materiales y procesos industriales más ecológicos. Según lo anterior, los bioplásticos son una solución prometedora para disminuir la dependencia de los plásticos tradicionales derivados del petróleo, que representan una importante fuente de contaminación ambiental y contribuyen al agotamiento de recursos no renovables. Los bioplásticos, son obtenidos a partir de fuentes renovables, como biomasa vegetal o microorganismos, son biodegradables, por lo que ofrecen un menor impacto ambiental en su ciclo de vida.

En el caso de las pectinas, son compuestos tipo polisacáridos presentes en las paredes celulares de diversas especies vegetales, han despertado el interés de uso como materia prima para el desarrollo de bioplásticos debido a sus propiedades intrínsecas, que incluyen biocompatibilidad, biodegradabilidad y capacidad para formar películas flexibles, como también, algunas propiedades biológicas, que pueden definir su uso potencial en varios segmentos de la industria diferente a los usos tradicionales (alimentos y farmacéutico).

Si bien se puede considerar como un tema novedoso, ya que la obtención de pectinas a partir de biomasa residual biodegradable se presenta como una opción para el aprovechamiento de recursos subutilizados y reducir la generación de desechos agrícolas y alimentarios, se presentan diversos desafíos, como, por ejemplo:

- Selección adecuada de la fuente de biomasa y el proceso de extracción óptimo para maximizar el rendimiento y asegurar la calidad de las pectinas.
- Identificación de métodos de caracterización precisos para evaluar las propiedades estructurales y funcionales de las pectinas obtenidas.

- La exploración de técnicas de modificación química que permitan mejorar las propiedades de las pectinas para su aplicación en la obtención de bioplásticos innovadores.

Con esto en mente, un análisis de minería de texto se presenta como una herramienta poderosa para apoyar la investigación en la obtención de pectinas a partir de biomasa residual y diseño de nuevos materiales.

En esta propuesta de trabajo de grado para la Maestría en Ciencias y Tecnologías Ambientales, se aplicaron herramientas de minería de texto para el análisis de artículos científicos (generación de nuevo conocimiento) o patentes (innovación), relacionado con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual biodegradable con el objetivo de proporcionar una visión integral y actualizada del estado de la investigación, identificando áreas de oportunidad y proponiendo recomendaciones para futuras investigaciones en el desarrollo de bioplásticos innovadores y sostenibles, facilitando la identificación de oportunidades en este campo.

1. Análisis de minería de texto en la obtención de pectinas a partir de biomasa residual biodegradable para el desarrollo de bioplásticos innovadores

1.1 Planteamiento del problema

El mundo atraviesa varios problemas ambientales relacionados con la explotación desmedida de los recursos naturales más allá de su capacidad de renovación, esto inició con la revolución industrial a mediados del siglo XVIII y ha sido fuertemente influenciado por la globalización y el crecimiento demográfico. La industria del plástico tiene gran influencia en problemas de contaminación ambiental y es la que mayor crecimiento ha tenido en los últimos años (Lama, 2018). En el 2018, la producción de plásticos en el mundo alcanzó casi los 360 millones de toneladas , siendo Asia, la región con mayor producción mundial (51% del total), la segunda región con mayor producción de plásticos es Norte América (18%) seguido de Europa (17%), mientras que América Latina produce el 4% de plástico a nivel mundial (PlasticEurope, 2019). Particularmente en Colombia, de acuerdo con Acoplásticos, para el año 2018, la producción de plásticos en el país superó los 1,3 millones de toneladas anuales. Hoy en día, no quedan dudas de que los desechos plásticos contaminan los ecosistemas en todo el mundo debido a su difícil biodegradación (Rochman et al., 2016) y se estima que, de no cambiar las modelos de consumo y gestión de residuos, para el 2050 unos 12.000 millones de toneladas de basura plástica harán parte de los vertederos y los ecosistemas (PNUMA, 2018). Debido al daño ambiental derivado de la persistencia de residuos plásticos típicamente producidos por la industria petroquímica, se ha propuesto como alternativa la producción de plásticos bio-basados con carácter biodegradable (Bishop et al., 2021).

1.2 Justificación

De acuerdo con el Marco de Política de Bioeconomía para Colombia y el Plan de Desarrollo 2022- 2026, se apuesta por el desarrollo de productos, procesos y servicios con valor agregado, mediante la articulación de los principios de la Bioeconomía, Economía Circular y la Economía Forestal. Se cuenta con potencial de biomasa residual vegetal superior a las 43 toneladas año, reportadas en el 2019.

El aprovechamiento de esta biomasa residual proveniente de cultivos agroindustriales del departamento de Santander, residuos sólidos orgánicos aprovechables generados en las plazas de mercado o de sectores residenciales del área metropolitana de Bucaramanga, está direccionado a la obtención de nuevos materiales, aplicando conceptos de Química Verde y que son de interés para las industrias cosmética, farmacéutica, alimentos, el sector agrícola y ambiental.

En el marco de la Economía Circular, los plásticos son un desafío y una prioridad, ya que se necesita preparar una estrategia que aborde los problemas ambientales producidos por estos materiales en su ciclo de vida útil. Una industria de plásticos innovadora y sostenible debe centrarse en la prevención y reducción de residuos plásticos, seguida de una reutilización y reciclaje. La inclusión de plásticos biodegradables en esta estrategia permitiría mejorar la disposición de estos residuos al final de su vida útil utilizando técnicas como el compostaje o la digestión anaeróbica.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar un estudio de minería de texto priorizando áreas de investigación prometedoras y sostenibles en el desarrollo de bioplásticos innovadores a partir de pectinas obtenidas de biomasa residual disponible en el departamento de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar las tendencias de investigación relacionadas con el desarrollo de bioplásticos a partir de pectinas obtenidas de biomasa residual, considerando aspectos como la fuente, métodos de extracción, métodos de caracterización, aplicaciones, función y tipo de pectina, empleando técnicas de minería de texto y consulta de base de datos de Scopus (Elsevier 2024).

Analizar los datos recopilados para identificar áreas de investigación prometedoras y sostenibles en el desarrollo de bioplásticos innovadores, de acuerdo con su estructura, propiedades biológicas, evaluando la frecuencia de aparición de términos clave, la evolución temporal de las investigaciones y la relevancia de los estudios en función de su impacto y citación.

Proponer un modelo de biorrefinería para el aprovechamiento de pectinas obtenidas a partir de biomasa residual disponible en el departamento de Santander, mediante un ejercicio de análisis de los resultados de la minería de texto basado en publicaciones científicas.

2. Marco referencial

2.1 Marco teórico

2.1.1 Bioeconomía

La bioeconomía es una estrategia que emplea la producción, uso y conservación de los recursos biológicos, tecnológicos y los conocimientos relacionados con la ciencia y la innovación, para generar productos, procesos y servicios a los sectores económicos con la intención de crear una economía sostenible (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022; Gaviria Uribe et al., 2021) Su concepto ha evolucionado rápidamente hacia una visión más amplia para el desarrollo sostenible, ya que se busca generar un cambio total del papel de los recursos biológicos en la estructuración de las economías y la búsqueda de bienestar social (Hadson de Jaramillo et al., 2019). En Colombia este concepto se consolida como un motor de desarrollo sostenible a partir del aprovechamiento de la biomasa, biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, según el modelo de bioeconomía en el país, se pretende emplear los componentes de la biomasa vegetal y la biodiversidad para la generación compuestos de valor añadido, teniendo en cuenta que contamos con un potencial de biomasa residual vegetal superior a 43 millones de toneladas/año (MinCiencias, 2020).

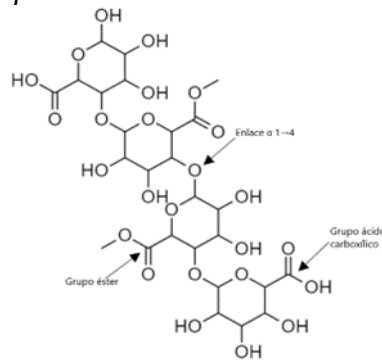
La biomasa vegetal residual se considera un residuo sólido orgánico de tipo agroindustrial, generado a partir de trabajos de cosecha (tallos, hojas y vainas), de residuos de procesamiento de cultivos (cáscaras, semillas, raíces, bagazo, melaza, entre otros) y también subproductos de las industrias alimentarias (cáscaras) que usualmente no son de utilidad posterior y representan una amenaza para el medio ambiente debido a la disposición final de los mismos (GTC 57-3 del

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2006; Soto Regalado et al., 2022; Tariq et al., 2023). Buscando una solución a esta amenaza, se ha incrementado el interés en el aprovechamiento de estos residuos obteniendo una gran cantidad de productos de valor agregado como aceites esenciales, flavonoides, compuestos fenólicos, fibra dietética, lípidos, quitina, pectina, biocombustibles, productos de biorrefinería, pigmentos y conservantes, compostajes, emulsificantes, espesantes, enzimas, compuestos bioactivos y ácidos orgánicos (Grande, 2016; Mahongnao et al., 2023; Tariq et al., 2023). La pectina es un polisacárido contenido en las paredes celulares de diferentes fuentes naturales entre estas los cítricos; puede ser extraída y aislada para ser empleado a escala industrial en varios sectores económicos (Mellinas et al., 2020), lo que hace de la pectina un ingrediente activo que en el marco del modelo de bioeconomía colombiano permitiría el desarrollo de productos biobasados.

2.1.2 Pectina

Es un polisacárido asociado con microfibrillas de celulosa y hemicelulosa presente en la pared celular de los vegetales. Se compone por anillos de ácido D-galacturónico, cuya cantidad varía desde 100 hasta alrededor de 1000, cada anillo posee un grupo carboxilo ($-\text{COOH}$), que puede llegar a estar esterificado con metanol, produciendo sustituyentes metoxilo (COOCH_3); estos anillos de ácido D-galacturónico se encuentran unidos en las posiciones α -1,4 (Figura 1)(do Nascimento Oliveira et al., 2018; International Pectin Producers Association IPPA, 2019).

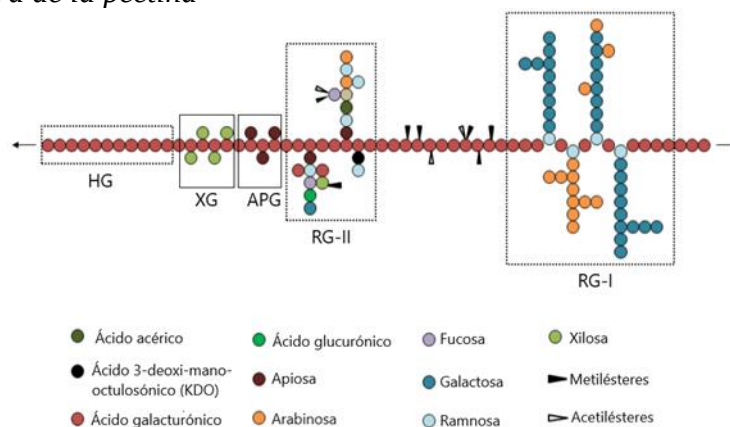
Figura 1. Estructura básica de la pectina



Adaptado de Zegada Franco, 2015.

La pectina está compuesta aproximadamente en un 65% a 70% de monómeros de ácido galacturónico denominado homogalacturonano (HG) que componen una columna vertebral y es conocido como una región suave de la pectina (International Pectin Producers Association IPPA, 2019; Noreen et al., 2017). A esta columna vertebral se pueden encontrar unidos diferentes azúcares como ramnogalacturonano I (RGI), ramnogalacturonano II (RGII), xilogalacturonano (XG) y apiogalacturonano (APG) como puede observarse en la Figura 2 (López-Sanchez et al., 2020; Pasandide et al., 2017)

Figura 2. Estructura de la pectina



Adaptado de Muñoz, 2015.

2.1.2.1 Propiedades fisicoquímicas de las pectinas. Las propiedades de las pectinas pueden variar según la materia prima empleada para su extracción y condiciones como el pH y la temperatura, en la Tabla 1 se muestran algunas de sus propiedades.

Tabla 1. *Propiedades fisicoquímicas de las pectinas*

Propiedad	Descripción	Referencia
Peso molecular	Varía entre 2500 a 300000 g/mol	(Acevedo y Ramírez, 2011; Baltazar Flores et al., 2013; Sayah et al., 2016)
Solubilidad y pH	Pueden ser de dos tipos: solubles en agua e insolubles en agua. Se ha comprobado que la solubilidad de la pectina aumenta al incrementar la temperatura hasta los 80°C, si se supera esta temperatura su solubilidad disminuye, además se sabe que la pectina alcanza estabilidad a un pH entre 3,5 a 4.	(Alfonso, 2010; Fukaya et al., 2006; Saha y Bhattacharya, 2010; Sila et al., 2009; Thakur et al., 1997)
Grado de esterificación y contenido de ácido galacturónico	La pectina debe tener al menos un 65% de contenido de ácido galacturónico y según el grado de esterificación puede clasificarse como pectina de alto grado de metoxilo HM (por sus siglas en inglés) más de 50% de unidades esterificadas y pectina de bajo grado de metoxilo LM (por sus siglas en inglés) menos de 50% de unidades esterificadas.	(Acevedo y Ramírez, 2011; Mellinas et al., 2020; Picot-Allain et al., 2020a)
Grado de gelificación	Número de gramos de azúcar con los cuales un gramo de pectina forma un gel de firmeza estándar, esta capacidad resulta de la interacción entre el soluto y el solvente. La velocidad de gelificación es directamente proporcional al grado de esterificación, en donde los geles de LM son más lentos en alcanzarse que los de HM. Las pectinas comerciales de buena calidad tienen grados de gelificación entre 150 y 130 grados SAG.	(Acevedo y Ramírez, 2011; Alfonso, 2010; Picot-Allain et al., 2020b)

2.1.2.2 Fuentes y métodos de obtención. Además, de las fuentes convencionales, múltiples investigaciones, han demostrado que las frutas tropicales y los zumos de frutas también son una fuente importante y alternativa de pectina (Bizzani et al., 2020; Picot-Allain et al., 2020b). En la Tabla 2 se resumen diferentes trabajos relacionados con la extracción de pectina a partir de diferentes fuentes de biomasa empleadas.

Tabla 2. *Contenido de pectina obtenido a partir de fuentes agroindustriales y métodos de extracción*

Fuente	Método de obtención	% R*	% GE	% GaIA	Referencia
Cáscara de lima	MAE UAE	36,4	7,1-10,51	79,29- 95,93	(Rodsamran y Sothornvit, 2019; Siddiqui et al., 2021)
Cáscara de limón	UAE	25,31	NR	NR	(Rahmani et al., 2020)
Cáscara de pomelo	MAE UAE	27, 34- 31,88	75,6 – 82,61	69,9- 74,25	(Bagherian et al., 2011; W. Wang et al., 2015)
	AEH	16 - 16,7	61,19 -70,7	NR	(Roy et al., 2018)
Cáscara de naranja	MAE	32,8	69,8	78,1	(Durán y Villa, 2014; Su et al., 2019)
	AEH	19,62 - 29,37	> 70	25	(Senit et al., 2019; Tovar et al., 2019)
	HC	NA	17,05	NR	(Meneguzzo et al., 2019)
Orujo de manzana	HA	10,5- 19,8	70,5-71,2	59,1-66,3	(Picot-Allain et al., 2020b; Sharma et al., 2014)
Remolacha	UAE	20,8	57-63	64-73	(Jafarzadeh-Moghaddam et al., 2021)
Cáscara de fruta de dragón	MAE UAE	7,5	NR	NR	(Lin et al., 2018; Thirugnanasambandham et al., 2014)
	UAE HA	7,16- 12,67	60,36- 85,45	66,65	(de Oliveira et al., 2016; Liew et al., 2014)
Cáscara de maracuyá	EAE	26	67,5	85,4	(Vasco y Zapata, 2017)
	AEH	30,87	NR	NR	(Inayati et al., 2018)
	UAE MAE	3,8- 11,63	75,6-86,2	NR	(Guandalini et al., 2019; Matharu et al., 2016; Rojas et al., 2015)
Cáscara de mango	AEH	15,7 – 27,2	77-89	NR	(Banerjee et al., 2018)
Cáscara de plátano	MAE	1,81- 14,34	63,58- 88,83	90,07	(Aklilu, 2021; Phaiphon et al., 2020; Swamy y Muthukumarappan, 2017)
	AEH	11,63	NR	2,7	(Marenda et al., 2019)
Cáscara de berenjena	AEH	26,1			(Kazemi et al., 2019)
Cáscara de granada	HA	8,5	75	62	(X. Yang et al., 2018)
	AEH	NR	45-75	53,8-63,1	(Shakhmatov et al., 2019)
Pulpa de anacardo	AEH	6,5	76	NR	(Tamiello-Rosa et al., 2019)
Cáscara de durián	AEH	73,67	NR	NR	(Hasem et al., 2019)
	HA	12,12	18,99	77,35	(Jong et al., 2023)
Hibisco	AEH	14,59- 15,88	77,56- 83,96	71,35- 96,41	(Esparza et al., 2019)
Residuos de cáscara de cacao	SUE	10,9	36	55	(Muñoz et al., 2019)
	EAE	10,20	NR	52,06	(Hennessey et al., 2021)
Residuos de cáscara de chirimoya	EAU	8,93	NR	NR	(Shivamathi et al., 2019)

Nota. HA: Extracción ácida. UAE: Extracción asistida por ultrasonido. MAE: Extracción asistida por microondas. AEH: Extracción asistida por hidrotermia. SUE: Extracción de agua subcrítica. EAE: Extracción asistida por enzimas. HC: Cavitación hidrodinámica. R: El porcentaje de pectina extraída es expresado en porcentaje y se relaciona con la cantidad de material vegetal utilizado para la extracción. GE: El grado de esterificación de la pectina extraída. NR: No reportado.

La pectina se obtiene principalmente de orujo de manzana, pulpa de remolacha azucarera y cáscaras de frutos cítricos (Pacheco et al., 2019) es importante aclarar que estos últimos han sido reportados como principal fuente para la obtención de pectina a escala industrial gracias a los altos porcentajes de rendimiento en la extracción y al contenido de ácido galacturónico y grado de esterificación (Rahmani et al., 2020; Rodsamran y Sothornvit, 2019; Senit et al., 2019; Tovar et al., 2019). Desde hace años se han empleado otras fuentes de biomasa residual para obtener pectina como la berenjena, hibisco, pulpa de anacardo, cáscara de cacao, plátano o mango, los estudios indican porcentajes de rendimiento bajos, aunque se usan diferentes métodos de extracción. Así mismo, las frutas tropicales también han sido estudiadas evidenciando que la cáscara de maracuyá posee altos porcentajes de rendimiento empleando una extracción enzimática y con características fisicoquímicas prometedoras debido al alto contenido de ácido galacturónico 85g/100 g de cáscara seca y un grado de esterificación del 68% similar a la pectina comercial obtenida de cítricos, por lo que se cree que podría aplicarse en productos formadores de gel (de Oliveira et al., 2016; Inayati et al., 2018; Vasco y Zapata, 2017).

La obtención de pectina se rige por la transferencia de masa de los disolventes de extracción y, por lo tanto, al elegir un método específico se puede evaluar el rendimiento del compuesto extraído. De manera convencional, se extrae en medio acuoso ácido durante (1-3 horas) y altas temperaturas (75-100°C), un carácter más ácido en el solvente empleado modifica considerablemente el contenido de ácido galacturónico, el rendimiento y sus propiedades fisicoquímicas (Picot-Allain et al., 2020b; Yapo, 2009). Ahora, la extracción asistida por ultrasonido (UAE por sus siglas en inglés) reduce el tiempo de extracción frente a la extracción ácida y aumenta porcentaje de rendimiento, debido a que las ondas acústicas mejoran la difusión del solvente en el tejido vegetal, promoviendo la hinchazón de la biomasa y facilitando la

transferencia de masa (Ilghami et al., 2015). Por otra parte, la extracción asistida con hidrotermia (EAH por sus siglas en inglés) implica altas temperaturas (75-95°C), tiempos de extracción entre (1-5 horas), el uso de condiciones ácidas y el uso de agua como disolvente (Roy et al., 2018; Senit et al., 2019).

También existe la extracción asistida por enzimas (EAE por sus siglas en inglés) en esta técnica se tiene en cuenta la capacidad de las enzimas para alterar la pared celular de la biomasa, lo que facilita la extracción de la pectina y así se reduce el tiempo empleado en el proceso (Marić et al., 2018; Yang et al., 2018). Finalmente, la extracción asistida por microondas, (MAE por su significado en inglés) involucra la aplicación de un campo de microondas a un material, el rápido calentamiento interno hace que este material se rompa de manera efectiva, y así libere su contenido en el solvente (Baker y Kim, 2012; Hu et al., 2019).

2.1.2.3 Aplicaciones de las pectinas. Tradicionalmente el uso de la pectina se ha centrado en la industria alimentaria, por su variada aplicación en bebidas de frutas, refrescos, productos lácteos, confitería, panadería entre otros, debido a sus propiedades gelificantes, emulsificantes y estabilizantes (Picot-Allain et al., 2020b). Se usa también en otras industrias por sus propiedades de biodegradabilidad y biocompatibilidad. El esquema presente en la Figura 3. resume las diversas aplicaciones de la pectina.

Figura 3. *Diversas aplicaciones de la pectina en diferentes industrias*

Adaptado de Roman-Benn et al., 2023

Se ha informado sobre el beneficio de usar pectina para la prevención de alergias y enfermedades inflamatorias, también posee propiedades prebióticas generadas al interactuar con bacterias benéficas en el intestino grueso, así mismo, la microbiota intestinal puede fermentar la pectina y así liberar compuestos que promueven beneficios para la salud en el huésped (Blanco et al., 2021; Tan y Nie, 2020), también ha sido empleada en la terapia del cáncer como recubrimiento de medicamentos para asegurar una administración controlada (Palko-Łabuz et al., 2021) y como componente de películas de hidrogel que estimulan la cicatrización de heridas (Fan et al., 2021). En cuanto a las aplicaciones ambientales de la pectina, Kodoth y Badalamoole, 2019 determinan el uso potencial del terpolímero a base de pectina y su nanocompuesto con ZnO, preparados como absorbentes para colorantes catiónicos procedentes de soluciones acuosas procedentes de los efluentes industriales. En la industria alimenticia, además de las aplicaciones convencionales optando por usar la pectina como un aditivo de alimentos, es empleada en la producción de biopolímeros y bioplásticos de envasado o películas de recubrimiento (Butler et al., 2023), un estudio realizado por López et al., 2019 analiza las propiedades mecánicas de un biopolímero a base de pectina (4-6% p/v) aceite mineral y glicerol, evidenciando que la pectina mejora la resistencia a la tracción de la película, lo que permite pensar en su aplicación como revestimiento

de fibras naturales para mejorar la estabilidad de la fibra y sus propiedades mecánicas. Estos materiales son de gran importancia debido que se muestran como una alternativa de mejora frente al impacto ambiental generado por la producción y eliminación de plásticos de origen petroquímico ya que muchos de ellos son de un solo uso y produce efectos adversos sobre los ecosistemas (Lettner et al., 2017).

Los biopolímeros y bioplásticos son considerados una alternativa ecológica por su carácter biodegradable; y por la posibilidad de obtención a partir de fuentes naturales, bio-sintetizados por organismos vivos o sintetizados químicamente a partir de fuentes biológicas (Humpiri, 2018; Merchan et al., 2009). La directiva (UE) 2019/904 otorga una legislación que obliga a los países a reducir el impacto de plásticos en el medio ambiente especialmente los de un solo uso, sin embargo, no es hasta el 2022 con la comunicación de la comisión que se introducen los plásticos de origen biológico, biodegradables y compostables en la legislación, aportando claridad acerca de estos plásticos y estableciendo las condiciones para garantizar el impacto medioambiental de su producción y consumo (Comisión Europea, 2022; Unión Europea, 2019). En Colombia, la ley 2232 de 2022 regula y establece medidas que llevan gradualmente a la disminución de producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y sus disposiciones y al mismo tiempo establece pautas y requisitos para la producción, distribución y uso de materiales biodegradables en los envases desechables (Congreso de la República de Colombia, 2022). En conjunto estas leyes permiten avanzar en el camino hacia la sostenibilidad teniendo en cuenta las diversas aplicaciones que se le dan a los biopolímeros y bioplásticos, por lo cual, también es importante identificar sus propiedades fisicoquímicas y la normatividad técnica bajo la cual pueden ser evaluadas como se muestra en la Tabla 3. *Normas técnicas empleadas para evaluar las propiedades de los bioplásticos*

Tabla 3. Normas técnicas empleadas para evaluar las propiedades de los bioplásticos

Propiedad	Descripción	Norma	Referencia
Grosor y color	Determina el espesor del bioplástico obtenido con un micrómetro manual, y el color se determina con un colorímetro del que se obtienen coordenadas CIEL*a*b.		(Arteaga y Zavala, 2018; Navia y Bejarano, 2014)
Densidad	Esta relación entre la masa y el volumen depende de la estructura molecular. Se registran densidades entre 1,11 – 1,7 g/cm ³ .		(Van De Velde y Kiekens, 2002)
Absorción de agua	Varía de acuerdo con su estructura del bioplástico, debido a que s son bastante hidrofílicos tienden a absorber agua cuando están expuestos a esta.	ASTM D792 ASTM D6400	(Chariguamán, 2015)
Resistencia a la corrosión	Los biopolímeros deben degradarse lo más rápido posible y estos tiempos van desde varios meses para biopolímeros como ácido poliláctico/poliglicólico, un año para el caso de ácido poliglicólico a más de 2 años el ácido L-poliláctico; entre menor sea el tiempo de degradación menor es la resistencia a la corrosión.		(Aristizábal Castrillón et al., 2017; Navia y Bejarano, 2014)
Resistencia a la tracción	Indica la tensión máxima que un material puede resistir antes de fracturarse, mientras que el módulo de Young, también conocido como módulo elástico, define la rigidez de un material: cuanto mayor es su valor, más rígida es el material.	ASTM D882 ASTM D638	(Van De Velde y Kiekens, 2002)
Elongación	Es una medida de material ductilidad y dependen de la velocidad (velocidad de la cruceta) y la temperatura. El porcentaje de elongación varía según la capacidad de mantener una carga excesiva.		
Biodegradación	Se define como la capacidad metabólica de los microorganismos para mineralizar contaminantes orgánicos en compuestos menos complejos y poco peligrosos, que puedan integrarse a los ciclos biogeoquímicos.	ASTM G21-96 ASTM 5338-98/96 ASTM 6002-96/6400-99 ISO 17088	(García, 2015; Humpiri, 2018)

2.3 Estado del arte

En el 2018 Gurram et al., en su estudio “*A Solvent-Free Approach for Production of Films from Pectin and Fungal Biomass*” proponen el uso de la técnica de moldeo por compresión para producir películas de pectina con incorporación de biomasa producida por hongos como método alternativo a la técnica de fundición de alta demanda energética y que además usa solventes. Como metodología se sometió la pectina en polvo plastificado con 30% de glicerol para calentar el

moldeo por compresión (120 ° C, 1,33 MPa, 10 min) produciendo películas de pectina con resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura. Las imágenes SEM mostraron que la adición de biomasa produjo películas con menos desechos en comparación con las películas de pectina. Finalmente se pudo determinar que la adición de biomasa rica en proteínas (hasta un 20%) mejoró la resistencia a la tracción de las películas (16,1-19,3 MPa). Como conclusión, aprovechando la capacidad de autoadhesión de la pectina, se demostró que el moldeo por compresión es un método eficaz para producir bioplásticos a base de pectina con propiedades mecánicas de interés.

En el 2018 Kusrini et al., estudiaron la adsorción de lantano en soluciones acuosas a partir del uso de pectina extraída de la cáscara de durián. Se llevaron a cabo experimentos de adsorción y se analizaron los efectos del tiempo de contacto, concentración inicial de iones de lantano, el pH del medio, la dosis de pectina y la temperatura sobre la eficiencia de adsorción. Como resultado se demostró que la pectina pudo eliminar el lantano con una eficiencia de hasta 41,2 mg/g en un pH: 4 a 25°C durante 90 min. También se pudo comprobar que la adsorción del lantano en la pectina es exotérmica y espontanea.

En el 2019 Chodijah et al., publicaron el estudio “*Extraction of Pectin from Banana Peels (Musa Paradisiaca Fomatypica) for Biodegradable Plastic Films*” cuyo objetivo era determinar el efecto de la pectina aislada de la cáscara de plátano sobre las características de una película plástica biodegradable. Emplearon ácido cítrico para la extracción que se llevó a cabo durante 3 horas a 90°C. Como resultado se obtuvo una pectina con un contenido de agua del 11,55% y un grado de esterificación del 3,966%. Al desarrollar el bioplástico se pudo comprobar que posee un espesor entre 0,00311 - 0,00387 cm, una resistencia a la tracción de 2,62 - 10,56 MPa y un valor de alargamiento entre 16,66 - 58,33%. A manera de conclusión, los autores proponen que una

adición de 5 gramos de pectina para la elaboración de la película plástica mejora las propiedades físicas de la misma.

En el 2019 Lei et al., desarrollaron envases de alimentos activos a partir de películas comestibles de pectina (PEC) y glucomanano de konjac (KGM) con polifenol de té (TP). Los análisis realizados con FT-IR y FE-SEM mostraron la compatibilidad de los componentes y la dispersión de TP en toda la película aumentando las propiedades mecánicas y de resistencia al agua de la película. Por ejemplo, la resistencia a la tracción y el valor del ángulo de contacto de las películas con 2% de TP aumentaron en 5,28 MPa y 18,93°, respectivamente. En conclusión, las películas PEC-KGM-TP poseen el potencial para aplicarse como materiales bioactivos en los sectores de envasado de alimentos.

En el año 2020, Ortiz-Sanchez et al., evaluaron desde una perspectiva energética y económica la producción de aceite esencial, pectina y biogás a partir de residuos de cáscara de naranja como una alternativa de valorización, en la investigación titulada “*Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment*”. Se realizó una caracterización química, extracción de aceites y de pectina encontrando un rendimiento de 0,84 % m/m y 10,35 % en base húmeda respectivamente. Finalmente, se obtuvo un total de 2,015 l de biogás acumulado, con una composición de metano de 66,73%. Estos resultados experimentales se utilizaron para simular una biorrefinería. Los balances de masa y de energía de la simulación se emplearon para realizar un análisis energético y económico con lo cual se concluyó que la biorrefinería solo es factible a escalas bajas de procesamiento.

En el 2020 Almasi et al., fabricaron películas de pectina incorporadas en emulsiones Pickering (PE) y nanoemulsiones cargadas de aceite esencial de mejorana (NE). Inicialmente se

obtuvieron PE y NE, empleando Tween 80 como tensoactivo de bajo peso molecular y una mezcla de aislado de proteína de suero e inulina. Después, estos preparados se incorporaron en la película de pectina en tres porcentajes (2,5-5-7,5 % en peso). Los resultados del análisis de las propiedades por medio de FT-IR, XRD y FE-SEM evidenciaron que la pectina y PE/NE eran compatibles y poseían buenas propiedades mecánicas y de barrera contra el agua. El uso del aceite esencial de mejorana proporcionó propiedades antioxidantes. Como conclusión, la película de pectina de esta investigación posee un gran potencial para el envasado de alimentos activos.

En el año 2021, Kundu et al., en el estudio “*Valorization of citrus lemon wastes through biorefinery approach: An industrial symbiosis*” se valorizaron residuos de limón Assam (ALW). El rendimiento total de aceites esenciales fue de $4,19 \pm 0,11\%$ m/v, un análisis por GC-MS identificó 52 componentes, siendo el limoneno el constituyente principal (94,47 %), seguido del β -bisaboleno (1,26 %). Por otra parte, el rendimiento total de pectina de $12,67 \pm 0,46\%$ m/m, con un porcentaje de metoxilo de $9,24 \pm 0,38\%$ y grado de esterificación $74,11 \pm 0,80\%$. El proceso de producción de etanol se realizó mediante la sacarificación y co-fermentación (PSSCF), obteniendo 3,84 g/L/h con un rendimiento global del proceso del 69,17%. Como conclusión se pudo comprobar que, a través del concepto de biorrefinería, es posible recuperar pectina, aceite y etanol para una mejor economía del proceso.

Otro estudio del año 2021, desarrollado por Vaez et al., denominado “*An optimal biorefinery development for pectin and biofuels production from orange wastes without enzyme consumption*” se empleó como materia prima la cáscara y pulpas de residuos de naranja sometiéndola a un pretratamiento con ácido sulfúrico al 1% m/v a 94°C durante 60 min obteniendo 244 kg por tonelada de residuos con un porcentaje de rendimiento de 24,2% m/m para la cáscara y 23,7% m/m para la pulpa, con un contenido de ácido galacturónico de 70,2 % en la cáscara y de

69,9 % en la pulpa, con un grado de esterificación del 69%. Se sometieron a diferentes procesos residuos de la hidrólisis, a la fase líquida se le aplicó un proceso de fermentación generando 26,5 L de etanol con un rendimiento del 81,5 % en cáscara y 82,9 % en pulpa. La fase sólida se sometió a un proceso de digestión anaeróbica para la producción de 36 m³ de biogás donde los mayores rendimientos fueron 176,8 mL/g de sólidos volátiles (de la cáscara no tratada) y 191,8 mL/g de sólidos volátiles (de la pulpa sin tratar). La investigación concluye que el pretratamiento es necesario para la obtención de la pectina y el etanol si se determina como el producto de mayor interés en la biorrefinería, pero que para el caso del biogás no es necesario tratar los residuos. También se concluye que es necesario realizar un análisis tecno-económico y de ciclo de vida para desarrollar de manera tangible la biorrefinería.

En el año 2022, Jang et al., en su investigación titulada “*An integrated biorefinery process for mandarin peel waste elimination*”. A través de procesos consecutivos que incluyeron lavado, auto hidrólisis e hidrólisis enzimática, se obtuvieron biocompuestos que se transformaron en azúcares fermentables como glucosa (81,9 %) y ácido galacturónico; la auto hidrólisis generó altos rendimiento de arabinooligosacáridos (92,4 %) y xilooligosacáridos, manooligosacáridos y galactooligosacáridos que pueden emplearse como productos prebióticos de alto valor agregado. Los autores confirman la reducción de la masa de residuos de cáscara de mandarina en una biorrefinería integrada bajo un concepto de desperdicio cero.

En el 2024 Liu et al., desarrollaron películas de glucomanano de Konjac incorporadas con aceite de mandarina (MO) y pectina. Se evaluaron los efectos de la concentración del aceite de mandarina en las películas. Los resultados evidenciaron que la pectina protege y encapsula el MO y que el glucomanano como matriz contribuye a la estabilidad de la película; también se determinó que al aumentar la concentración de MO la resistencia al agua, la barrera al oxígeno y la actividad

antimicrobiana mejoró. La película de glucomanano cargada con 1,5% en peso de MO tuvo la mayor resistencia a la tracción (72,22 MPa) y ángulo de contacto con el agua ($\theta = 95,73^\circ$), redujo también la permeabilidad al oxígeno aproximadamente 32,8 veces y prolongó la vida útil de las fresas durante 8 días garantizando así la seguridad alimentaria y reduciendo el impacto ambiental.

3. Método

3.1 Metodología de análisis y recolección de datos

En este estudio se evaluó la actividad científica relacionada con la obtención de pectinas a partir de diferentes tipos de biomasa residual para el posterior desarrollo de bioplásticos innovadores con diferentes aplicaciones, mediante un análisis de minería de texto y revisión de artículos, para lo cual, se desarrollaron las siguientes etapas, a saber:

- Definición de descriptores y palabras clave: se seleccionaron términos relacionados con las pectinas (pectin*), fuentes de obtención (“Agroindustrial residues”, fruit*, “aromatic plant*”, “residual biomass”) y los productos a desarrollar (bioplastic*, biopolymer*, “biodegradable plastic*”)
- Búsqueda y selección de la literatura: con los términos anteriormente definidos se estructuraron ecuaciones de búsqueda adecuadas y se realizó una consulta en bases de datos de Scopus (Elsevier, B.V., 2024) y la base de datos de patentes y metabuscador académico de Lens versión 9.0.10 (Cambria. (2022)). También se realizó revisión de páginas especializadas en la temática propuesta.
- Análisis de la literatura: se obtuvieron los indicadores cuantitativos de actividad científica a partir de los documentos indexados en las bases de datos empleadas. Se empleó

el programa especializado para minería de texto VantagePoint (versión académica 16,0, *Search Technology*) y el programa de visualización de redes bibliométricas *VOSviewer* (Van Eck y Waltman, 2022), se identificaron tendencias y patrones en la investigación sobre las pectinas (fuentes de obtención, métodos de extracción, métodos de caracterización, propiedades biológicas, desarrollo de biopolímeros y sus potenciales aplicaciones).

Se consultaron páginas especializadas para identificar tendencias de consumo e identificar oportunidades de mercado en este campo de la valorización de residuos para la obtención de pectinas y desarrollo de bioplásticos.

- Propuesta de modelo de Biorefinería: Se emplearon los resultados de la minería de texto y la caracterización de la biomasa residual para identificar un proceso de biorrefinería adaptado a las condiciones y recursos disponibles en el departamento de Santander.

4. Resultados y análisis

4.1 Minería de texto

A continuación, se presentan los indicadores cuantitativos que se obtuvieron del análisis bibliográfico de la producción científica relacionada con la obtención de pectinas a partir de diferentes tipos de biomasa residual para su uso en biopolímeros. Se estructuró la siguiente ecuación de búsqueda empleando la base de datos Scopus (Elsevier, B.V., 2024): (*TITLE-ABS-KEY (pectin*) AND TITLE-ABS-KEY ("Agroindustrial residues" OR fruit* OR "aromatic plant*" OR "residual biomass") AND TITLE-ABS-KEY (bioplastic* OR biopolymer* OR "biodegradable plastic*") AND PUBYEAR > 1999 AND (EXCLUDE (EXACTKEYWORD*

, "Article") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Nonhuman") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Controlled Study") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Review") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Human") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Procedures") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Unclassified Drug") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Priority Journal") OR EXCLUDE (EXACTKEYWORD , "Humans")), mediante la cual se recuperaron 151 documentos, dentro de los cuales 105 corresponden a artículos científicos, 23 artículos de revisión, 12 capítulos de libros, entre otros.

4.1.1 Dinámica científica

De acuerdo con la ecuación de búsqueda propuesta, se recuperaron 152 documentos generados durante el periodo 2000 y el 2024. En la

Figura 4 se presenta la dinámica científica, representada por la distribución de documentos por año relacionados con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual para el desarrollo de biopolímeros. Encontrado que el primer reporte de actividad se presentó en el año 2003 con 4 documentos publicados relacionados con la obtención de pectina y sus posibles aplicaciones. Uno de los estudios de este año evaluó la variabilidad en la obtención de pectina extraída de residuos

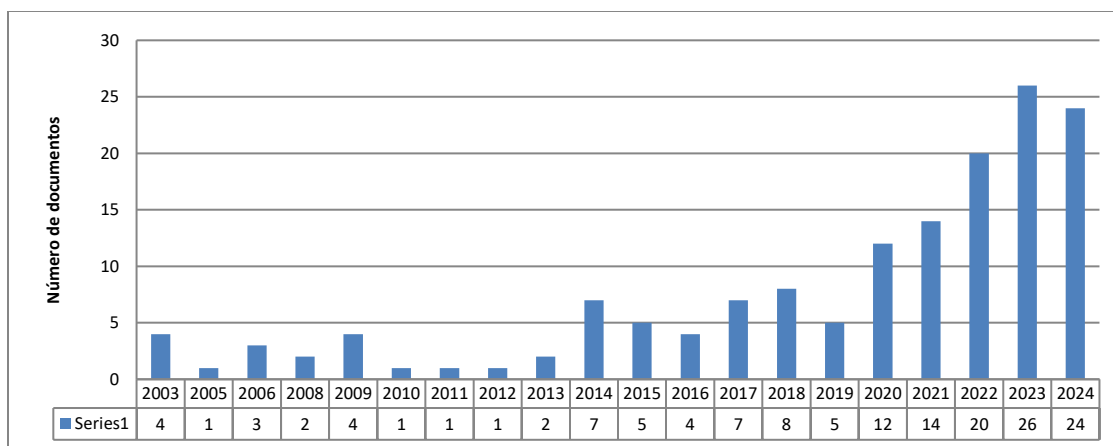
de cáscara de cítricos maduros empleando método de extracción la microfiltración de flujo cruzado encontrando que el uso de este método permitió ahorrar en solventes empleados para la extracción y aumentó el contenido de ácido galacturónico del 72,2 al 75,6% aunque disminuyó el porcentaje de rendimiento que disminuyó del 9,9 al 9,4% (C. W. Cho et al., 2003). Otro estudio evaluó las propiedades de películas desarrolladas a partir de pectina extraída de cáscaras de maracuyá, concluyendo que el polímero natural tiene potencial para ser empleado en el tratamiento de lesiones cutáneas (Segura Ceniceros et al., 2003).

Solo hasta el año 2014 la cantidad de registros aumentó a 7, indicando un interés creciente por el aprovechamiento de la biomasa residual para la obtención de pectina desde este año hasta la fecha (

Figura 4) ; un ejemplo de las investigaciones realizadas en este año es la realizada por Khan et al., en la que se hizo una extracción ácida de pectina a partir de cáscara de pomelo y luego la caracterizaron de acuerdo al peso equivalente, contenido de cenizas y el grado de metoxilo, además de esto, adicionaron la pectina obtenida en la formulación de mermelada teniendo un efecto significativo en la textura del producto final. Así mismo, la investigación de Dos Reis Martelli et al. empleó como materia prima el pure de plátano muy maduro como materia prima

para desarrollar películas biodegradables que incluían en su preparación pectina como agente aglutinante y glicerol como agente plastificante, encontrando que la mejor combinación correspondía a una composición de 4,5% de pulpa de plátano, 5% de glicerol y 0,5% de pectina. Finalmente, el año de mayor actividad fue el 2023 con 26 publicaciones; estos trabajos en su mayoría se relacionan con el desarrollo de biopolímeros con aplicación en envasado y empaquetamiento de alimentos, el trabajo realizado por Yadav et al., presenta una revisión en la cual se analizan los envases comestibles, las propiedades fisicoquímicas y la capacidad de formación de estas películas, desarrolladas a partir de polisacáridos como la pectina obtenida de subproductos de desechos de frutas como manzana, cáscara de plátano, cítricos, uvas, yaca, mango, granada, piña y tamarindo.

Figura 4. *Documentos por año asociados con la obtención de pectina a partir de biomasa residual para el desarrollo de biopolímeros*



4.1.2 Áreas de conocimiento

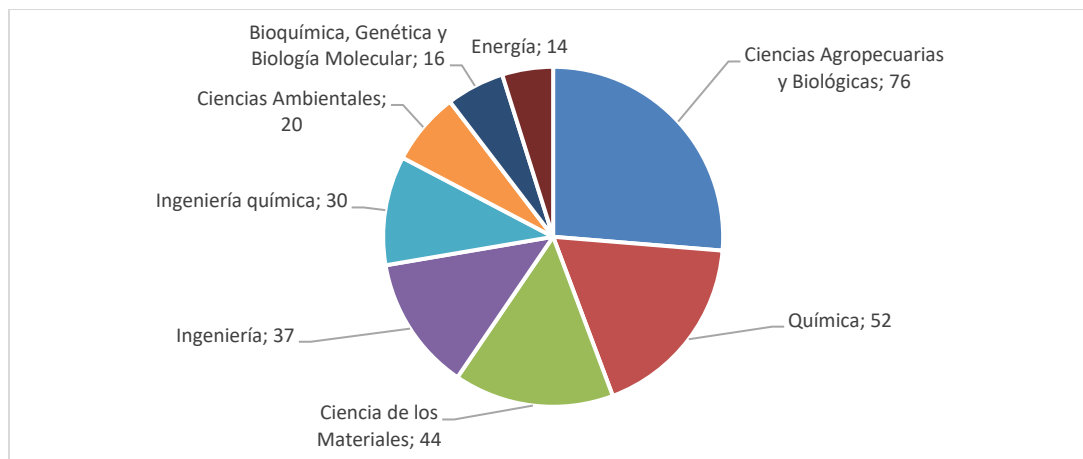
Dentro de las principales áreas de conocimiento (Figura 5) podemos identificar en primer lugar las ciencias agropecuarias y biológicas con 76 documentos relacionados con investigaciones en hidrocoloides e ingeniería de alimentos; un ejemplo de estas publicaciones es la desarrollada por Santos et al., 2020 , en la cual se evaluó la extracción de pectina de la cáscara de maracuyá utilizando ácido cítrico y la técnica de ultrasonido obteniendo un porcentaje de rendimiento entre el 42 y 51% y un grado de esterificación del 86,5% concluyendo que el uso de un disolvente verde es bastante eficiente para la extracción de este compuesto; en la revisión realizada por Kocira et al., 2021 se analizaron las tendencias, perspectivas y propiedades de los recubrimientos y películas comestibles evidenciando que los materiales poliméricos naturales que incluyen a la pectina representan una alternativa prometedora para el envasado de vegetales y frutas si pueden modificarse algunas propiedades como la solubilidad excesiva al adicionar aditivos funcionales que otorgan otras propiedades como actividad antimicrobiana.

En segundo lugar, encontramos química como área de conocimiento con 52 documentos que abordan temas de hidrocoloides como es el caso de la investigación de Van Rooyen et al., 2023 cuyo objetivo era encapsular hesperetina en nanopartículas de biopolímero de núcleo-capa a

partir de zeína y pectina de alto contenido de metoxilo, mostrando que el recubrimiento con pectina mejoró la estabilidad de las nanopartículas frente a la agregación y sedimentación en diferentes condiciones ambientales. Lo que demuestra que las nanopartículas de biopolímero núcleo-capa es un enfoque prometedor para incorporar hesperetina en alimentos y bebidas.

La tercer área de conocimiento con mayor relevancia corresponde a la ciencia de materiales con 44 documentos publicados, en la investigación de Wongkaew et al., 2021 que analiza la cascara de mango como un potencial subproducto agrícola que no ha sido empleado al máximo y que puede emplearse para la obtención de pectina si se realiza un adecuados aislamiento y posterior caracterización, también analizaron las diferentes técnicas de extracción y el uso de esta pectina en diferentes industrias como la farmacéutica y biotecnológica para el desarrollo de alimentos y productos farmacéuticos. Finalmente, el estudio realizado por Salahuddin et al., 2021 da a conocer los avances en la valorización de residuos de frutas y verduras para la extracción de pectina y ser usada en el desarrollo de películas de envasado activas. Además, analiza las más recientes investigaciones que tratan como los compuestos bioactivos extraídos mediante tecnologías innovadoras a partir de residuos de frutas y verduras, han mejorado las propiedades físicas, mecánicas, antioxidantes y antimicrobianas en los sistemas de envasado.

Figura 5. *Áreas de conocimiento más importantes relacionadas con investigación de pectinas durante el periodo de 2000-2024.*



4.1.3 Análisis de co-ocurrencia de palabras clave

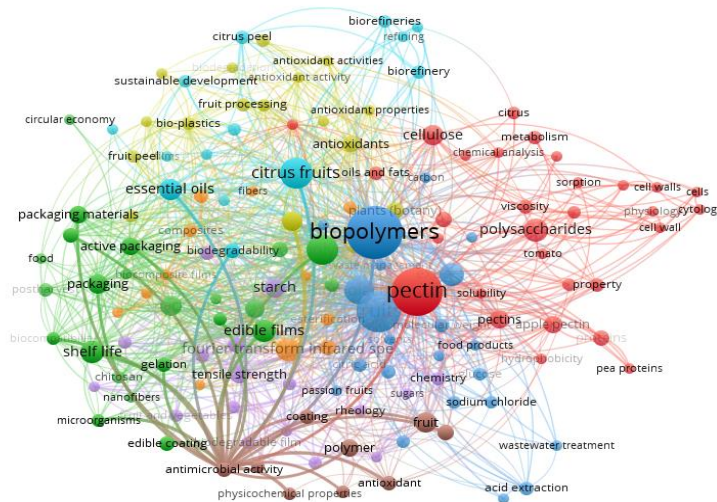
La Figura 6 presenta un mapa de análisis de co-ocurrencia de palabras clave proporciona una visualización detallada de las interrelaciones entre descriptores en la investigación de biopolímeros, pectinas y sus aplicaciones en diversas industrias. Los nodos representan los términos clave, cuyo tamaño es proporcional a su frecuencia, y las conexiones indican la co-ocurrencia de estos términos en los mismos artículos, con líneas más gruesas que representan relaciones más fuertes. Los colores diferencian clústeres temáticos, indicando grupos de términos relacionados.

En la misma Figura 6 se puede apreciar que el clúster verde se enfoca en empaques y sustentabilidad, destacando términos como "*packaging materials*" y "*sustainable development*", lo que sugiere investigaciones en materiales de empaque innovadores y sostenibles. El clúster azul, que incluye términos como "*biopolymers*", "*pectin*" y "*antioxidants*", se centra en biopolímeros derivados de frutas cítricas y sus propiedades antioxidantes. El clúster rojo incluye propiedades físicas y químicas de los polisacáridos, con términos como "*cellulose*" y "*viscosity*", indicando estudios sobre la estructura y propiedades de estos compuestos. Finalmente, el clúster naranja está

relacionado con propiedades funcionales y análisis, utilizando técnicas avanzadas como la espectroscopia infrarroja para caracterizar biopolímeros.

El término "*pectin*" es central y está conectado con "*biopolymers*", "*cell wall*", "*viscosity*", "*solubility*" y "*polysaccharides*", mostrando su importancia en la investigación de biopolímeros, aplicaciones en empaques biodegradables y estudios sobre sus propiedades físicas y estructurales. También se destacan temas emergentes como el desarrollo sostenible y la economía circular, así como el uso de aceites esenciales y antioxidantes naturales para mejorar la calidad y conservación de alimentos. En conjunto, esta visualización ofrece una perspectiva amplia sobre las áreas de investigación prominentes y los temas de interés en la literatura académica sobre pectinas y biopolímeros.

Figura 6. Relación de las palabras clave de mayor co-ocurrencia asociadas con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual.



4.1.4 Revistas científicas

La divulgación de documentos científicos se realizó en 83 revistas indexadas en la base de datos de Scopus (Figura 7), dentro de las que sobresalen: *Food Hydrocolloids* con 10 registros,

Carbohydrate Polymers con 7 registros, *International Journal of Food Science and Technology*, *Journal of Food Engineering* y *Polymers* con 5 registros cada una. Además, en la Tabla 4 se observa que las áreas temáticas son comunes para todas las revistas y que la mayoría de las categorías se encuentran en el cuartil 1, lo que indica que estas revistas se consideran como las de mayor índice de impacto en publicaciones relacionadas con estas áreas temáticas. Solamente la categoría *ingeniería industrial y de fabricación* de la revista *International Journal of Food Science and Technology* se encuentra en el cuartil 2 de impacto medio entre las revistas relacionadas con las áreas temáticas. Con respecto al alcance estas revistas publican artículos relacionados con la caracterización, funcionalidad, aplicación y propiedades de hidrocoloides; extracción y aplicación de polisacáridos para el desarrollo de biomateriales con aplicación en la industria de alimentos e industria farmacéutica; el análisis de polímeros convencionales y la simulación, obtención, procesamiento y desempeño de polímeros de base biológica y convencional.

Figura 7. Revistas indexadas con mayor divulgación de investigaciones relacionadas con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual.

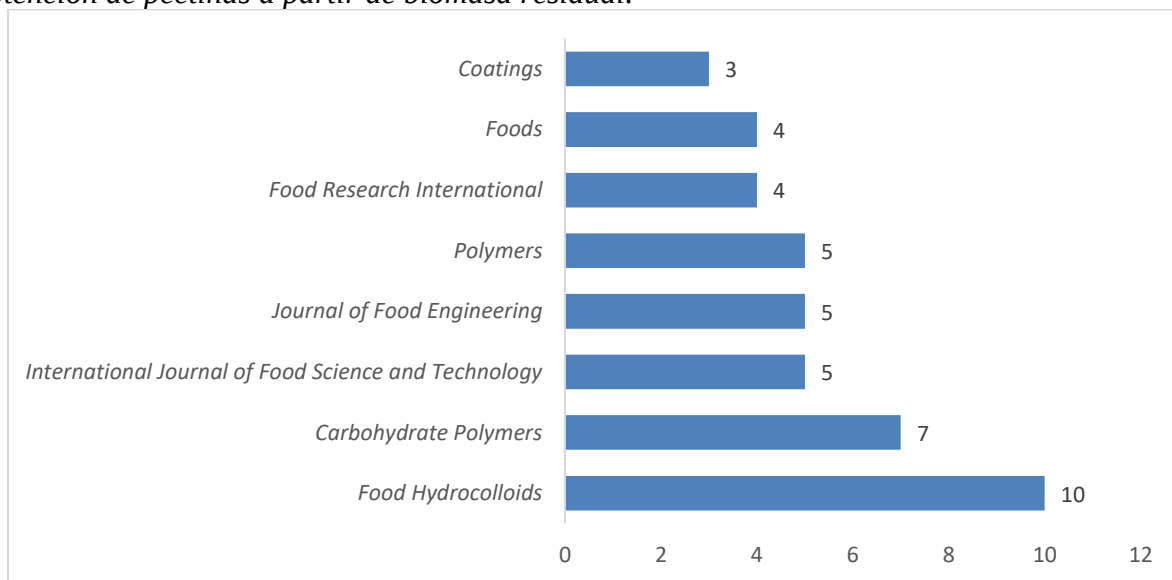


Tabla 4. Alcance de revistas indexadas con mayor divulgación de investigaciones de obtención de pectinas a partir de biomasa residual.

Revista	País	SRJ 2023	Área temática	Categoría	Cuartil	Alcance
Food Hydrocolloids	Países bajos	2.717	Ciencias agrícolas y biológicas	Ciencia de los alimentos	Q1	Publica investigaciones originales e innovadoras relacionadas con la caracterización, funcionalidad, aplicación y propiedades de los hidrocoloides en relación con los alimentos. Las áreas de interés de esta revista incluyen caracterización fisicoquímica, propiedades reológicas, térmicas, interfaciales y formadoras de película. Otras áreas de interés son encapsuladas y liberación de compuestos bioactivos y manipulación de la estructura y funcionalidad de los hidrocoloides. La cobertura de la revista corresponde a los periodos 1986, 1993, 1995-2024, identificando una tendencia creciente en la publicación de documentos y siendo el año 2023 con 1016 documentos la mayor cantidad de registros.
			Ingeniería Química	Ingeniería química	Q1	
			Química	Química	Q1	
Carbohydrate Polymers	Reino Unido	1.831	Química	Química orgánica	Q1	Publica investigaciones relacionadas con el estudio y extracción de polisacáridos. Las áreas de interés son variadas y corresponden a bioplásticos, biomateriales, biorrefinerías, administración de fármacos, alimentos, embalaje, productos farmacéuticos, recuperación de petróleo, textiles y nanotecnología, entre otros. La revista ha publicado desde el año 1981, identificando una tendencia creciente desde el inicio de la revista y teniendo el 2021 con 1453 registros como el año con mayor cantidad de publicaciones.
			Ciencia de los materiales	Química de los materiales	Q1	
				Polímeros y plásticos	Q1	
International Journal of Food Science and Technology	Reino Unido	0.685	Ciencias agrícolas y biológicas	Ciencia de alimentos	Q1	La revista del Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (IFST) publica artículos sobre una amplia gama de temas relacionados con los alimentos. Las áreas de interés se relacionan con la composición de materias primas, propiedades físicas de los alimentos y la garantía, seguridad, almacenamiento, distribución y comercialización de estos. La revista ha publicado desde el año 1966, siendo el 2022 como el año de mayor publicación con 751 documentos.
			Ingeniería	Ing. industrial y de fabricación	Q2	

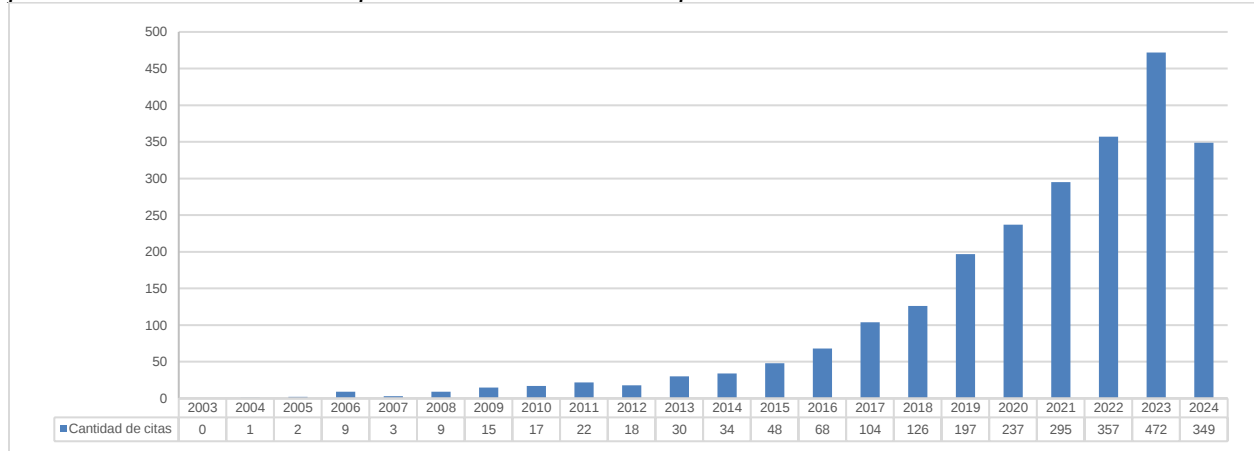
Revista	País	SRJ 2023	Área temática	Categoría	Cuartil	Alcance
Journal of Food Engineering	Reino Unido	1.158	Ciencias agrícolas y biológicas	Ciencia de los alimentos	Q1	Esta revista publica documentos relacionados con la ingeniería alimentaria. Entre las áreas de interés se encuentran las propiedades fisicoquímicas de los alimentos; diseño, operación y control de procesos y etapas de producción, almacenamiento y distribución de alimentos; producción de nuevos alimentos y economía de la ingeniería alimentaria. La revista ha publicado desde el año 1982 hasta la fecha y en el 2023 se publicaron 314 documentos.
Polymers	Suiza	0.800	Química	Química	Q1	Es una revista publica documentos relacionados con la ciencia de los polímeros. Las áreas de interés que maneja la revista se relacionan con la física, el análisis de polímeros convencionales y de base biológica, la simulación de polímeros, el procesamiento y desempeño, la síntesis de polímeros convencionales y de base biológica, las aplicaciones de polímeros y el reciclaje de polímeros. La revista ha publicado desde el año 2009 hasta la fecha, siendo el año 2022 el de mayor registro con 5546 documentos.
			Ciencia de los materiales	Polímeros y plásticos	Q1	

Adaptado de SCImago, (nd).

4.1.5 Análisis de impacto de los trabajos de investigación: citas

Para identificar la tendencia de citas relacionadas con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual para el desarrollo de biopolímeros se limitó la ecuación de búsqueda a “artículos” y se analizó la tendencia de estos 105 registros. La Figura 8 permite identificar una tendencia creciente de citas desde el 2013 (30) hasta la fecha (349) siendo el 2023 el año con mayor cantidad de citas (472). En el Apéndice A se organizaron los artículos de acuerdo con el número de citas, entre los cuales se destacan: “*Application of FT-IR and Raman spectroscopy for the study of biopolymers in breads fortified with fibre and polyphenols*” con 192 citas desarrollado por Sivam et al., 2013, siendo el año 2023 el año que más veces se citó (30). El segundo documento en esta tendencia corresponde al estudio de Ghasemi et al., 2017 “*Production of pectin-whey protein nano-complexes as carriers of orange peel oil*” citado 165 veces desde el año de publicación y siendo el 2022 el año que más veces se citó (28). En tercer lugar, se encuentra el trabajo desarrollado por Ciriminna et al., 2015 “*Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint*” citado 148 veces desde el 2016 y siendo citado 26 veces en el 2023. En cuarto lugar, se encuentra el trabajo desarrollado por Santos et al., 2020, “*Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification*” con 106 veces citado y siendo el año 2023 con 39 veces el año con más citas del documento. En quinto lugar, se encuentra el trabajo desarrollado por Cybulska et al., 2015, citado 105 veces llamado “*The self-assembled network and physiological degradation of pectins in carrot cell walls*” y con mayor cantidad de citas 11 veces en los años 2017 y 2020 respectivamente.

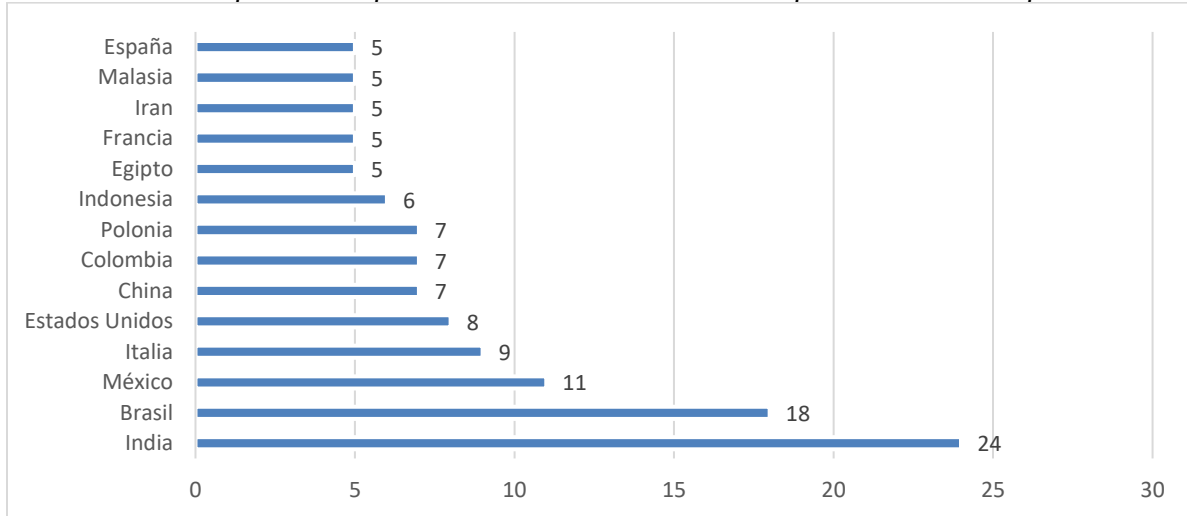
Figura 8. *Tendencia de las citas relacionadas con la investigación de la obtención de pectinas a partir de biomasa residual para el desarrollo de biopolímeros*



4.1.6 Distribución de publicaciones por países

La Figura 9 muestra la distribución geográfica de las publicaciones y los 14 países con mayor de investigaciones relacionadas con el estudio de las pectinas obtenidas de diferentes fuentes y aplicaciones. A nivel mundial India sobresale con 23 documentos, seguido de Brasil (18), México (11), Italia (9), Estados Unidos (8), con respecto a esta dinámica Colombia ocupa el tercer puesto de países latinoamericanos después de Brasil y México con 7 registros, y seguido de Costa Rica (2), Chile, Perú y Uruguay con 1 publicación para cada uno. Los trabajos que se han desarrollado en Colombia están relacionados con el potencial de la biomasa residual para el desarrollo de productos biobasados, materiales, películas comestibles, encapsulados y recubrimientos con aplicación en la industria alimenticia. (Caicedo et al., 2022; Coronado Ortega y Ayala Bautista, 2024; Durán et al., 2018; Mantilla-Mantilla et al., 2021; Meza-Sepulveda et al., 2024; Murillo-Franco et al., 2023; Quintero Pimiento et al., 2023).

Figura 9. Documentos por países a nivel internacional donde se realiza investigación relacionada con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual con aplicaciones en biopolímeros.



4.2 Actividad inventiva

Con el propósito de establecer la actividad inventiva con respecto a la obtención de pectina a partir de residuos agroindustriales, se consultó la base de datos de acceso libre Lens Patent, para estructurar la siguiente ecuación de búsqueda: *(Title: (pectin OR biopectin) OR (Abstract: (pectin OR biopectin) OR Claims: (pectin OR biopectin))) AND (Title: (biomass OR ("residual biomass" OR ("agroindustrial waste" OR ("agroindustrial residue" OR (bio-mass OR "Lignocellulosic Biomass"))))) OR (Abstract: (biomass OR ("residual biomass" OR ("agroindustrial waste" OR ("agroindustrial residue" OR (bio-mass OR "Lignocellulosic Biomass"))))) OR Claims: (biomass OR ("residual biomass" OR ("agroindustrial waste" OR ("agroindustrial residue" OR (bio-mass OR "Lignocellulosic Biomass"))))))))*, y se obtuvieron 163 registros de patentes organizadas en 151 familias extendidas de patentes.

Un análisis riguroso de patentes es vital ya que ofrece una comprensión acerca de las tendencias tecnológicas y la innovación en la industria y, además, permite identificar las oportunidades de mercado y cuál es la tendencia hacia lo que se busca proteger con la propiedad

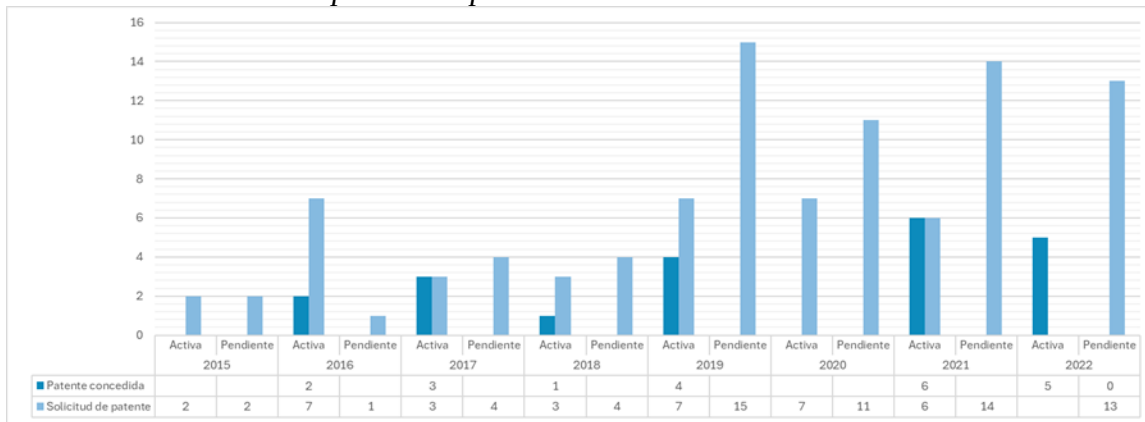
intelectual. Así se pueden tomar decisiones al establecer una figura empresarial para aprovechar nuevas oportunidades de negocio con una visión clara de los desafíos de mercado, tecnológicos y de innovación.

4.2.1 Dinámica de la actividad inventiva

Del total de registros de patentes (163), 120 se encuentran en el estatus legal de activas o pendientes, distribuidas entre patentes concedidas (21) y (99) son solicitudes de patentes. Como se puede observar en la Figura 10, se discriminaron los tipos de patente de acuerdo al estatus legal de la patente encontrando que para el año 2015 no se concedieron patentes, por otro lado, las patentes en proceso de solicitud fueron 4, relacionadas con métodos para el procesamiento de biomasa residual (Essaddam, 2015; Trudsø et al., 2015; R. Zhang et al., 2015). A partir de este momento se aprecia una tendencia creciente, que llegó a su punto máximo en el año 2021 donde se presentaron 26 registros, 6 de estos corresponden a patentes concedidas y 20 solicitudes de patentes; algunas de las patentes concedidas en este año se relacionan con la protección de métodos de producción de pectina a partir de biomasa residual (Staunstrup et al., 2021) y el desarrollo de biomateriales como es el caso del desarrollo de un material de nanopartículas metálicas que comprende una etapa de obtención de un extracto de biomasa que contiene pectina (Hyungkoun et al., 2021). Además, durante el 2022, se tienen 5 registros de patentes concedidas y 13 de patentes en proceso de solicitud, uno de los estudios para este año se relaciona con la protección a una técnica de producción de un análogo alimenticio cárnico a partir de hongos filamentosos *Neurospora intermedia*, *Neurospora sitophila*, *Neurospora crassa*, en el desarrollo del mismo se emplea pectina como uno de los aditivos del producto (Pattillo, 2022). Otro estudio de este mismo

año emplea la pectina para la elaboración de implantes oclusivos que se emplean en procesos de anticoncepción (Herr et al., 2022).

Figura 10. Distribución por años del número de patentes concedidas y solicitadas por año en relación con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual.

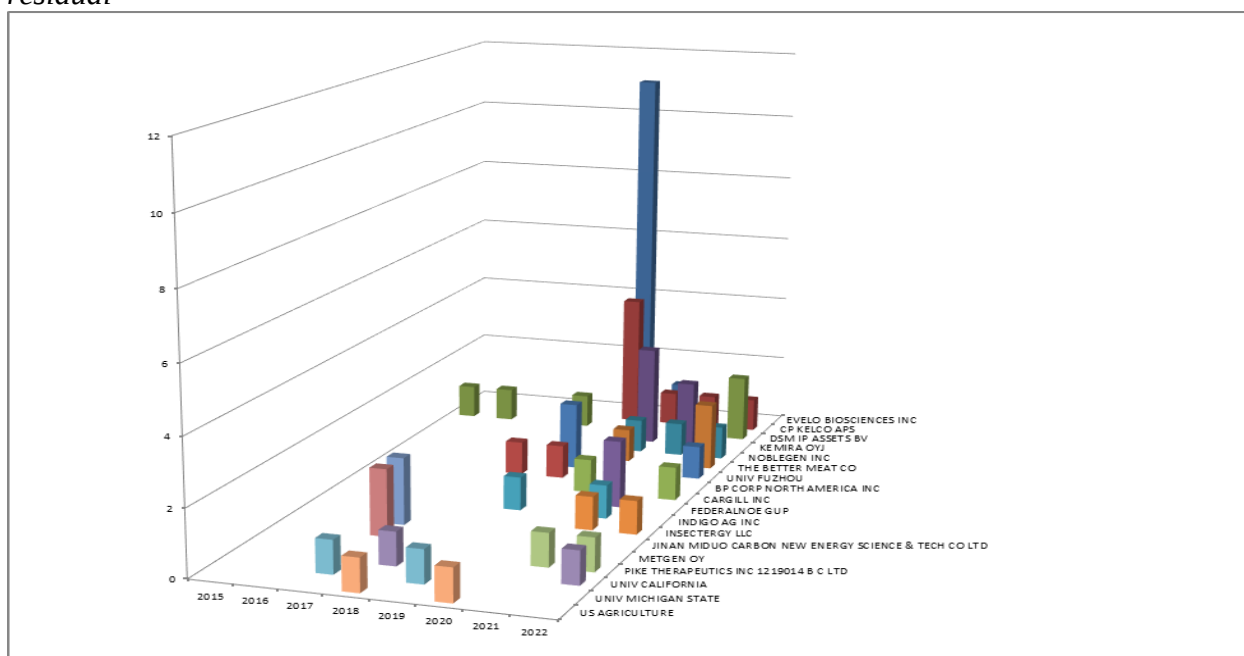


4.2.2 Solicitantes de patentes

Entre los solicitantes se encuentra la compañía Evelo Biosciences Inc. (Figura 11), la cual cuenta con la mayor cantidad de registros, once de ellos en el año 2019 y el otro registro durante el año 2020, en general están relacionadas con tratamientos contra el cáncer, en las cuales se incluye la pectina como un prebiótico empleado en la composición farmacéutica que también incluye diferentes bacterias útiles como agentes terapéuticos para estos tratamientos (Goodman et al., 2018, 2019; Goodman y Davitt, 2019; Sandy et al., 2019). Por otra parte, la compañía CP Kelco Aps se encuentra en el segundo lugar con 7 registros, cuatro de ellos durante el 2019 y desde el 2020 hasta el 2022 un registro cada año, esta compañía se enfoca en la producción de ingredientes de origen natural para ser empleados principalmente en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica sus solicitudes se fundamentan principalmente en la descripción de métodos de extracción y la fuente desde la cual se extrae pectina (Hansen et al., 2020; Olsen et al., 2022; Staunstrup et al., 2019, 2021; Trudsoe, 2019). Así mismo, la compañía Dms Ip Assets, se encuentra

en el cuarto lugar con 4 registros de patentes relacionadas con la formulación de biomasa que sea fuente productora de carotenoides, compuestos retinoicos, hidrocoloides, antioxidantes entre otros (Greenfell-Lee et al., 2016) y el uso de biomasa rica en lignocelulosa, celulosa y pectina combinada con diferentes métodos empleados para la producción de etanol o glicerol (Klaassen y Hartman Wouter, 2015, 2018; Pronk et al., 2016; Van Maris et al., 2022).

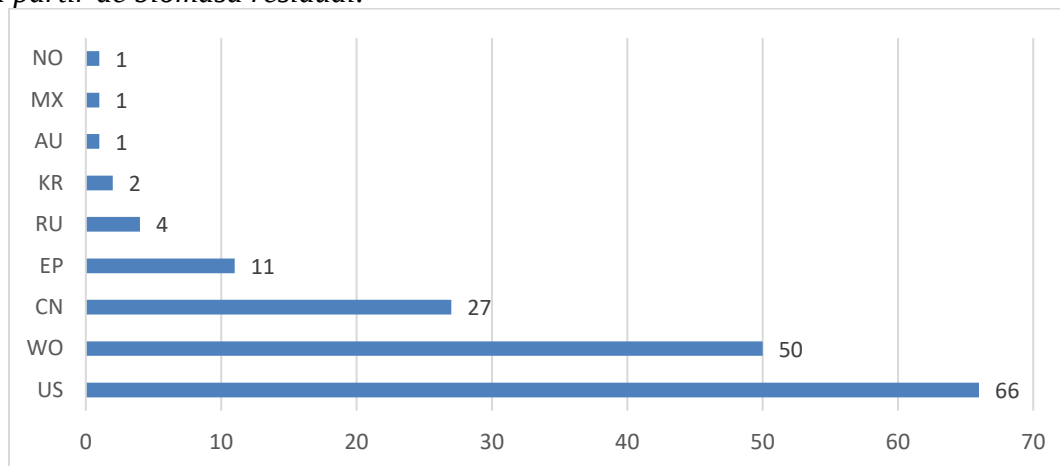
Figura 11. Solicitantes de patentes relacionadas con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual



4.2.3 Distribución de patentes por jurisdicción

Como se aprecia en la Figura 12, la distribución de patentes por jurisdicciones permite identificar los países donde se protegen invenciones relacionadas con la pectina. Estados Unidos, registra el 40% de todos los registros correspondiente a 66 documentos, seguido por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual a través de su base de datos WIPO lex que administra 50 de los registros, correspondientes al 31%, China con 27 registros correspondientes al 17% y Patentes Europeas con un 7% correspondiente a 11 registros, entre otros.

Figura 12. Distribución de patentes citadas por jurisdicción en relación con la obtención de pectinas a partir de biomasa residual.



4.2.3 Distribución de patentes de acuerdo con el IPCR

El sistema de Reforma de la Clasificación Internacional de Patentes (IPCR por sus siglas en inglés) se emplea como una herramienta de clasificación de las patentes (OMPI, 2022). De acuerdo con esta clasificación se verificaron las patentes relacionadas con la obtención o aplicación de pectina generada a partir de biomasa residual, encontrando que las secciones con mayor porcentaje de clasificación corresponden a Necesidades Humanas (A) con un 42,61%, Realización de Operaciones y Transporte (B) con un 7,83%, Química y Metalúrgica (C) con un 39,13%, Papel y Textiles (D) con un 6,96 % y en menor porcentaje las secciones E, G y H con 0,17%, 2,96% y 0,35% respectivamente.

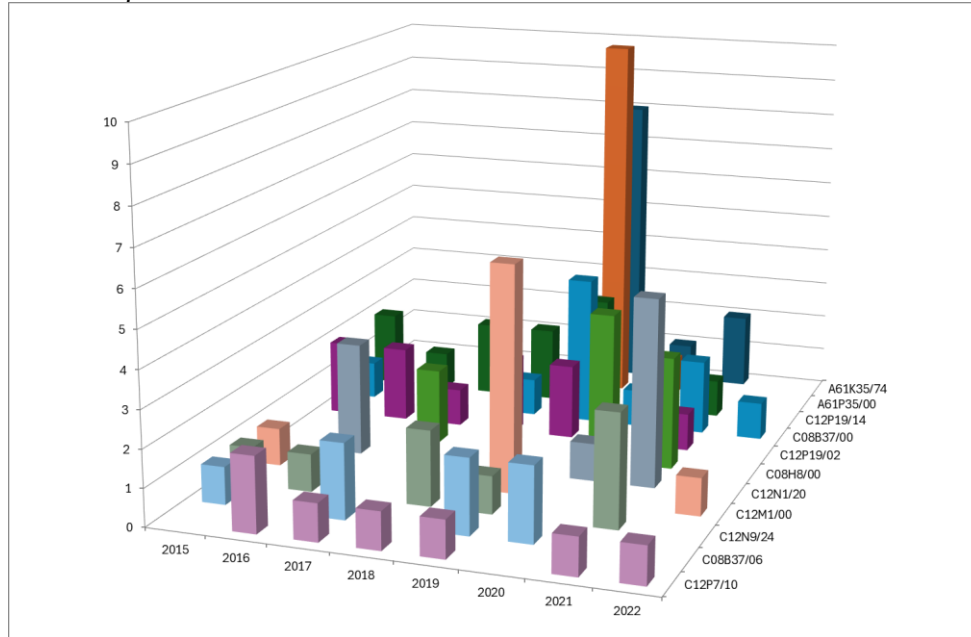
Como se observa en la Figura 13, la clase A61 *ciencia médica, higiene o veterinaria* posee mayor cantidad de registros (11) desde el 2019 hasta el 2021 siendo el primer año el de mayor relevancia; aquí encontramos la subclase K35/74 *preparaciones medicinales que contienen material biológico u otras sustancias activas derivadas de microorganismos* y P35/00 *agentes antineoplásicos (contra el cáncer)* con 11 registros cada una, un ejemplo de las invenciones en estas clases es la desarrollada por Vladimirovna et al., 2020 que incluye procesos de biotecnología

en los cuales buscaban aumentar el crecimiento de *Lactobacillus salivarius* en un medio de cultivo que contiene pectina en polvo como uno de los componentes, demostrando que la invención permite aumentar el rendimiento de biomasa de *Lactobacillus salivarius* sp. *Lactobacillus*.

Por otra parte, la clase C08B, se refiere al *uso de macromoléculas para la elaboración de productos químicos*, dentro de esta clase se puede identificar el grupo y subgrupo 37/00 relacionados con la *obtención de polisacáridos* y posee 10 documentos distribuidos desde el 2015 hasta el 2022, teniendo el año 2019 como el de mayor cantidad de registros (Figura 13). Algunos de los artículos relacionados con este código de clasificación patenta la obtención de pectina proveniente de biomasa, proporcionando métodos para mejorar las propiedades reológicas (espesantes, texturizantes y estabilizadoras), también un modelo de biorrefinería de celulosa y otros productos a partir de biomasa incluyendo la pectina, para así, ser empleada en la elaboración de diferentes productos como alimentos, bebidas, cosméticos, cuidado personal, biomateriales, bioproductos y farmacéuticos (Ross et al., 2019; Tudman y Chesonis, 2019).

Los códigos C12P19/14 y C12P19/02 y C12P7/10 hacen referencia a *procesos de fermentación o uso de enzimas para sintetizar o separar compuestos orgánicos*, cada uno posee 11, 10 y 7 registros de patentes respectivamente presentando una cantidad constante de registros durante los años 2015-2019 y de nuevo reaparecen en el 2021 (Figura 13. *Clasificación de patentes por códigos IPCR relacionada con el aprovechamiento de pectina generada a partir de biomasa residual*). Algunos de los estudios se relacionan con la extracción de pectina a partir de enzimas para la producción de microfibrillas de celulosa empleadas para hacer papel, pretratamiento de la biomasa para ser transformada en biocombustibles y obtención de etanol a partir de material lignocelulósico fermentado por microorganismos como *S. cerevisiae* (Brandizzi et al., 2019; Hepworth et al., 2017; Pronk et al., 2016).

Figura 13. Clasificación de patentes por códigos IPCR relacionada con el aprovechamiento de pectina generada a partir de biomasa residual.



4.3 Modelo de biorrefinería

Una biorrefinería no energética, emplea biomasa como materia prima para la obtención de productos de alto valor tales como: productos químicos, materiales y bioproductos a través de procesos bioquímicos, termoquímicos o fisicoquímicos. La importancia de estas instalaciones radica en la reducción del impacto ambiental debido a que convierte residuos en productos útiles promoviendo la sostenibilidad, beneficia la economía local y global creando nuevos mercados y aplicaciones a la biomasa al producir productos de alto valor económico y fomenta la innovación en biotecnología y química verde (Corona et al., 2018; Ponce, 2021; Yamakawa et al., 2018).

4.3.1 Fuentes de biomasa en el departamento de Santander

El departamento de Santander posee cultivos agroindustriales y frutales representativos a nivel nacional dentro de los que se encuentra la palma de aceite 63,60%, seguido de la caña

panelera 9,14%, otros frutales 4,80%, el limón 4,38%, la mandarina 3,79%, la guayaba 2,66% y la naranja 2,61% y en menor proporción café 2,37%, cacao 1,75% y maracuyá 0,14% (Apéndice B) (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2020).

Además, según (United Nations Environment Programme (UNEP), 2021) a nivel mundial no se llegan a consumir la totalidad de alimentos producidos y procesados debido a las pérdidas y desperdicios relacionados con las fases de producción, manejo y almacenamiento y consumo de los alimentos. Se estima que en América Latina y Caribe se desperdicia el 34% de alimentos producidos para consumo humano correspondiente a 127 millones de toneladas anuales y Colombia no es la excepción (Ruiz et al., 2019).

Basado en el análisis de datos proporcionado por Gaviria et al., se logró determinar que el para el 2016 el departamento de Santander contribuye con una participación en pérdida del 27,7% (1,7 millones de toneladas) y de desperdicio del 48,3% (1,7 millones de toneladas) en el país. Los cultivos del departamento que generan más pérdidas son guayaba (4.067 toneladas), seguido de la caña panelera (1.835 toneladas), maracuyá (626 toneladas), mandarina (501 toneladas) y limón (429 toneladas); estas pérdidas se relacionan con la no recolección de cosecha (eventos climáticos, fitosanitarios, acceso a factores productivos, costos de producción o situaciones de mercado o comercialización).

Además, en el 2016, Vargas, realizó una caracterización sobre la generación de residuos sólidos de las plazas de mercado del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB), encontrando que el 61,98% son orgánicos como se observa en el Apéndice D. En cuanto a la caracterización realizada en la plaza de San Francisco tomada como muestra para el estudio, se pudo determinar que la cáscara de la piña (25,16%) y de naranja (9,20%) son de los residuos más abundantes.

Según varios estudios, los residuos agroindustriales no son relevantes para el proceso que los produjo; sin embargo, se pueden utilizar en biorrefinerías para obtener diversos compuestos que podrían ser utilizados en el futuro como materia prima para la creación de productos con valor. (Ortiz-Sanchez et al., 2020; Patsalou et al., 2020; Sabater et al., 2022; V. Yadav et al., 2022).

4.3.2 Biorrefinerías de pectina

Uno de estos productos de valor agregado es la pectina, obtenida usualmente mediante la extracción de las cáscaras de cítricos o pulpa de manzana en todo el mundo y recientemente de subproductos de frutas tropicales y subtropicales (Jafarzadeh et al., 2021; Picota et al., 2020b; Sharma et al., 2014). La Tabla 5, sintetiza información relevante sobre la valorización integral de subproductos ricos en pectina empleando el concepto de biorrefinería.

Tabla 5. *Publicaciones relacionadas con la biorrefinería de pectina publicadas desde el 2013*

Método de extracción	Fuente	Ácido empleado	%R	Compuestos extraídos	Referencia
Hidrólisis Ácida	Cáscara de cacao	Ácido clorhídrico o cítrico	7,62	Pectina	(Chan y Choo, 2013)
	Cáscara de naranja	Ácido clorhídrico	19,62	Terpenos, compuestos fenólicos, pectina, monosacáridos	(Senit et al., 2019)
	Pulpa de remolacha	Ácido clorhídrico y nítrico	NR	Pectina, compuestos fenólicos, ácido succínico	(Alexandri et al., 2019)
	Cáscara de naranja	Ácido cítrico	10,35	Aceite esencial, pectina, biogás	(Ortiz et al., 2020)
	Cáscaras de cítricos	Ácido sulfúrico	NR	Aceite esencial, pectina, fertilizante y ácido succínico	(Patsalou et al., 2020)
	Cáscara y pulpa de naranja	Ácido sulfúrico	23,7-24,7	Pectina, etanol y biogás	(Vaez et al., 2021)

Método de extracción	Fuente	Ácido empleado	%R	Compuestos extraídos	Referencia
	Cáscara de limón	NR	0,46	Aceite esencial, pectina y etanol	(Kundu et al., 2021)
	Cáscara de naranja	Ácido clorhídrico	19,36	Aceite esencial, pectina y pienso	(Bedoya et al., 2021)
	Orujo de cítricos	Ácido acético	24	Pectina y fibra lignocelulosa	(Zannini et al., 2021)
	Cáscara de cacao	Ácido cítrico	0.19	Pectina y xilooligosacáridos	(Valladares et al., 2022)
	Cáscara de almendra	Ácido cítrico	26,32	Pectina, compuestos fenólicos, pululano y proteína unicelular	(Najari et al., 2022)
	Cáscara de naranja	NR	9-25	Aceite esencial, pectina, huminas y furfural	(Rivera et al., 2024)
Extracción con agua subcrítica	Cáscara de mango	Sin ácido	1.33-4	Pectina y polifenoles	(Manhongo et al., 2021)
	Cáscara de cebolla	Sin ácido	5,2-9	Pectina, oligosacáridos, furfural, ácido fórmico, acético y levulínico	(Benito et al., 2022)
Extracción asistida por ultrasonido	Cáscara de mango	Ácido nítrico	8,6	Compuestos fenólicos y pectina	(Guandalini et al., 2019)
	Residuos de membrillo	Ácido cítrico	12,78	Pectina	(Riveros et al., 2022)
Extracción asistida por calentamiento óhmico	Cáscara de naranja	Ácido cítrico	13-14	Aceite esencial, flavonoides y pectina	(Dikmetas et al., 2024)
Extracción asistida por hidrotermia	Cáscaras de granada	NR	18,8-20,9	Pectina, polifenoles, bioetanol	(Talekar et al., 2018)
Extracción asistida por hidrotermia	Cáscara de naranja	Sin ácido	12,08	Aceite esencial, polifenoles y pectina	(Hilali et al., 2019)

Nota: R: El porcentaje de pectina extraída es expresado en porcentaje y se relaciona con la cantidad de material vegetal utilizado para la extracción. NR: No reportado.

Los métodos de extracción expuestos en la Tabla 5 se pueden clasificar como convencionales y no convencionales. La primera clasificación corresponde a la hidrólisis ácida, ahora este método es el más empleado por las industrias por su alta escalabilidad, con métodos ya

establecidos y patentados, los equipos y reactivos disponibles comercialmente y la alta eficiencia de extracción. Sin embargo, este método no es sostenible debido a que emplea altas cantidades de ácidos, la corrosión de los equipos es habitual lo que aumenta los costos de mantenimiento y existen mayores posibilidades de degradación de la pectina debido a las largas horas de calentamiento y las altas temperaturas manejadas (Nadar et al., 2022; Sandarani, 2017). Para cambiar el panorama de baja sostenibilidad se ha optado por alternativas verdes sustituyendo los ácidos minerales como sulfúrico, nítrico, clorhídrico y fosfórico por ácidos orgánicos como el cítrico, acético, málico, oxálico, entre otros (Bagherian et al., 2011; E. H. Cho et al., 2019; Kaya et al., 2014; Maric et al., 2018; Picot et al., 2020b; Van Hung et al., 2021).

La segunda clasificación corresponde a nuevas tecnologías que intentan remediar los inconvenientes de la anterior en cuanto a temperatura y tiempo de extracción, aquí podemos encontrar la *extracción asistida por microondas*, esta técnica requiere menos tiempo, se utilizan pequeños volúmenes de disolvente, produce un mayor rendimiento de extracción, sin embargo, se requieren de equipos especializados y de un mayor consumo eléctrico (Durán et al., 2021; Hosseini et al., 2016; Nadar et al., 2022). En la *extracción asistida por ultrasonido* la sonicación ocasiona la formación y colapso de microburbujas que mejoran la difusión del solvente en el tejido vegetal debido a la hidratación en la célula (Ilghami et al., 2015), por lo que se reduce significativamente el tiempo de extracción y el consumo energético, es escalable y ya se utiliza en la industria (Nadar et al., 2022; Pérez et al., 2023; Picot et al., 2020b). Dos tecnologías que reducen el tiempo de extracción y que además no impactan el medio ambiente con el uso de ácidos o reducción de los mismos corresponden a la *extracción con agua subcrítica* y *extracción asistida por hidrotermia*, sin embargo, requieren de equipos especializados para mantener altas temperaturas y presiones

esto lo hace costoso para ser implementado a gran escala (Adetunji et al., 2017; Muñoz et al., 2019).

Otro de los aspectos para tener en cuenta a la hora de estructurar una biorrefinería de pectinas es el grado de esterificación, la Tabla 2 presenta diferentes fuentes de biomasa empleadas en la obtención de pectinas evidenciando que los cítricos en general, así como el maracuyá, generan pectina con altos porcentajes de grado de esterificación, lo que los clasifica como productores de pectina con alto contenido de metoxilo (> 50%). Según las tendencias de mercado, esta pectina presenta una mayor participación que la pectina de bajo contenido de metoxilo y se emplea ampliamente en las diferentes industrias (Emergen Research, 2022).

De acuerdo con todo lo anterior, los cítricos corresponden a la fuente de biomasa usualmente empleada en procesos de biorrefinería de pectinas y el departamento de Santander cuenta con 21.556 hectáreas sembradas de este cultivo que representan el 24,4% de participación en Colombia generando 306.687 toneladas por año distribuidas en las diferentes provincias y el Metropolitana la de mayor producción con 216.295 toneladas al año (Apéndice C), dentro de esta provincia los municipios con mayor participación corresponden a Lebrija 92.826 toneladas, Girón 66.689 toneladas y Rionegro 45.733 toneladas (Federación de productores cítricos de Santander, 2021; Picot et al., 2020b). Esta fuente cuenta con el mayor porcentaje de rendimiento de pectina extraída mediante hidrólisis ácida (Pacheco et al., 2019; Rodsamran y Sothornvit, 2019) sin importar el tipo de ácido que se emplee (ácido sulfúrico 23,7-24,7%, ácido clorhídrico 19,36%, ácido cítrico 10,35%, ácido acético 24%) (Bedoya et al., 2021; Ortiz et al., 2020; Patsalou et al., 2020; Zannini et al., 2021). Así mismo en relación con los datos de pérdidas y desperdicios de cultivos en el departamento tenemos maracuyá con 626 toneladas producida principalmente en Girón (Ministerio de Agricultura, 2017), mandarina y limón con 501 toneladas y 429 toneladas

respectivamente. El maracuyá se considera una fuente de biomasa no convencional con buenos porcentajes de rendimiento de pectina extraída por *ultrasonido o convencional* con ácido nítrico 7,16-12,67%, enzimática 26% e hidrotérma 30,87% (de Oliveira et al., 2016; Guandalini et al., 2019; Inayati et al., 2018; Manhongo et al., 2021; Vasco y Zapata, 2017).

4.3.3 Modelo de biorrefinería de pectinas

De acuerdo con las publicaciones relacionadas con biorrefinerías de pectina (Tabla 5) y el análisis desarrollado en la sección anterior, se eligieron los artículos presentados en la Tabla 6 que tiene en común el desarrollo o evaluación de obtención de pectinas y otros productos de valor agregado a partir de biomasa de naranja bajo el concepto de biorrefinerías.

Tabla 6. Características operativas de biorrefinerías de pectinas a partir de naranja.

Documento	Resumen	Fuente de biomasa	Método de extracción	Parámetros de extracción pectina	Productos obtenidos
(Hilali et al., 2019)	El estudio investiga la extracción ecológica de aceites esenciales, polifenoles y pectinas de cáscaras de naranja usando energía solar. Se compararon métodos de hidrodestilación solar y convencional, encontrando que la extracción solar preserva más compuestos bioactivos y es más eficiente en términos de tiempo.	Naranja 1,2 kg	Hidrolisis en medio ácido	Destilador (100mL) 5 gramos de cáscara de naranja 100 ml de agua d Ácido nítrico 1N pH:2,5 75°C 3h	Zumo de naranja= 4,2 g Aceites esenciales polifenoles= 12,48 mg al vapor y 9,7 mg solar
			Hidrodestilación solar	Reflector y alambique (15Kg) 500 gramos de cáscara fresca 5000 ml de agua Sin ácidos 100°C 2 h	Flavonoides= 3,7 a 4,8 mg eq/g al vapor y 3,8 mg eq/g solar pectinas= 7,69 al vapor y 8,26 solar
(Bedoya et al., 2021)	El estudio analiza la valorización integral de residuos de cáscara de naranja en Colombia mediante un esquema de biorrefinería. Se obtuvieron	Cáscaras de naranja valencia 50 g	Hidrólisis en medio ácido	Destilador 700 ml agua d Ácido clorhídrico 37% pH 1.5-3	Aceite esencial= 3,34 ml Pectina= 9,7 g Pienso= 4,3 g

Documento	Resumen	Fuente de biomasa	Método de extracción	Parámetros de extracción pectina	Productos obtenidos
	aceite de naranja, pectina y harina para alimentación animal. Los resultados económicos muestran indicadores positivos como un valor presente neto de 27'271.933 y una tasa interna de retorno del 5,27 %, sugiriendo una inversión viable para pequeños y medianos productores.			85° C 30-40 minutos	
(Silva da Costa et al., 2022)	El estudio evalúa el impacto ambiental del proceso de extracción de subproductos de la naranja, como el aceite esencial y la pectina, utilizando el método de Análisis de Ciclo de Vida. Se encontró que la producción de pectina es el principal punto crítico debido a la hidrólisis, y que el gas natural es la mejor fuente de energía para reducir emisiones.	Cáscaras de naranja 15 kg	Hidrólisis en medio ácido	Reactor discontinuo 9,42 L Ácido clorhídrico pH 2,2 70° C 2 h	Jugo de naranja= 4,5 kg Aceite esencial= 0,0345 kg Pectina= 1 kg
(Ortiz et al., 2020)	El estudio evalúa la producción de aceite esencial, pectina y biogás a partir de residuos de cáscara de naranja desde una perspectiva energética y económica. Los resultados indican que la biorrefinería es viable a baja escala de procesamiento y que los residuos de cáscara de naranja son una materia prima potencial para obtener productos de valor agregado.	Cáscara de naranja húmeda	Hidrólisis en medio ácido	Reactor CSTR Ácido cítrico pH 2,8 80°C 60 min	Aceite esencial= 0.65% p/p Pectina= 10.35% p/p Biogás= 59,6 Nm ³ /t
(Muñoz et al., 2021)	El estudio evalúa la prefactibilidad técnica y económica de una biorrefinería para convertir cáscaras de naranja en productos de alto valor como aceite esencial y pectina. Se concluye que el proyecto es rentable con un tiempo de recuperación de inversión entre 5 y 6 años.	Cáscara seca de naranja 365 t/año	Hidrólisis en medio ácido	Tanque mezclador 365 ton/año Ácido cítrico 0,1 M 60° C 1 h	Aceite esencial= 9,1 t/año Pectina= 50 t/año

El trabajo presentado por Hilali et al., 2019, presenta la extracción solar como una innovación tecnológica al compararla con una extracción convencional, como resultado del estudio afirman que la extracción solar mantiene la calidad de los aceites esenciales obtenidos, mejora los valores de obtención de pectina y reduce el tiempo de extracción de 3 a 2 horas. Además, presentan una tecnología ambientalmente sostenible ya que reduce el consumo de energía y de ácidos para la extracción y promueve el uso de fuentes renovables. Por desventajas de esta extracción, está condicionada por la radiación solar diaria y la densidad de la nubosidad, por lo que debe ubicarse estratégicamente.

Por otro lado el estudio realizado por Bedoya et al., 2021 desarrollado en Colombia, emplea cáscara de naranja para la obtención de aceite de naranja, pectina y pienso, en esta investigación se empleó hidrólisis convencional con ácido clorhídrico para la extracción de la pectina, la innovación y la sostenibilidad del estudio se centra en el potencial impacto positivo al ambiente al emplear residuos que finalmente terminan en vertederos como materia prima para generar productos de valor agregado. Además, este estudio presenta un análisis económico que sugiere que invertir en este modelo de biorrefinería es una opción viable para la valorización de residuos por pequeños y medianos productores de cítricos en el país. El estudio menciona también que podría ser difícil escalar a producción industrial porque el estudio se desarrolló en un entorno de laboratorio y que no todos los procesos pueden ser fácilmente adaptados.

Silva da Costa et al., 2022, analizan el impacto ambiental del proceso de extracción de subproductos de la naranja a partir del Análisis de Ciclo de Vida, encontrando que el proceso de la producción de pectina es el principal punto crítico debido a la energía consumida por los motores para calentar el reactor de extracción y al alto consumo de agua que puede oscilar entre 3 y 3,8 L/kg de cáscara en la hidrólisis; como propuesta de mejora al proceso dan como alternativa

emplear dos tanques para la hidrólisis, en el primer tanque se debe mantener la temperatura en los primeros ciclos, para luego pasar el extracto hidrolizado a un segundo tanque, cambiando el proceso de discontinuo a continuo y dejando el primer tanque disponible para otro ciclo de hidrólisis. También proponen emplear gas natural para la generación de la energía térmica utilizada en el sistema y así proporcionar una combustión más limpia al proceso. Finalmente evalúan el tipo de ácido empleado en la extracción teniendo en cuenta la capacidad que posee para realizar una extracción óptima y los impactos ambientales de su uso, realizan un estudio comparativo de tres ácidos: nítrico, clorhídrico y cítrico, encontrando que a diferencia de lo propuesto en la literatura sobre el uso de ácido cítrico como una alternativa verde para este proceso, el ácido clorhídrico mostró el mejor rendimiento con un pH cercano a 1,5, en un rango de temperatura de 90-100° C durante 1 hora máximo y una relación de cáscara a volumen de 1:3; este ácido también presenta el mejor desempeño, con el menor impacto ambiental en las categorías evaluadas en el Análisis de Ciclo de Vida.

El estudio publicado por Ortiz et al., 2020, desarrollado en Colombia evalúa la producción de aceite esencial, pectina y biogás. La innovación de este estudio radica en la proyección de los datos obtenidos a partir de indicadores de masa, eficiencia energética y análisis económico permiten plantear una biorrefinería a baja escala (inferior a 240 t por día) que procese 1 tonelada de cáscara de naranja húmeda para obtener 6,07 kg de aceite esencial, 22,75 kg de pectina y 7,72 Nm³/t de biogás. El estudio también menciona la alta demanda de energía involucrada (consumo energético específico 2,93 MJ/kg) en estos procesos, pero no desarrolla una evaluación detallada de los puntos de ineficiencia o alto consumo energético.

Finalmente Muñoz et al., 2021, evalúa la prefactibilidad de una biorrefinería de cáscara de naranja. En términos de sostenibilidad ambiental, el estudio propone alcanzar un proceso “zero-

waste” en el cual se obtiene pectina y aceite esencial con potencial de aplicación para la industria de alimentos y cosmética, sin embargo, no consideran el aprovechamiento de los residuos sólidos de la extracción de estos componentes. El estudio presenta el diseño de todo el proceso de producción, reportando datos desde la selección y dimensionamiento de equipos, hasta el análisis económico de la implementación de la biorrefinería. El proceso de extracción de la pectina se realiza con hidrólisis ácida con ácido cítrico 0,1 M proponiendo la obtención de 50 toneladas de pectina al año y la obtención de 9,1 toneladas de aceite esencial por arrastre de vapor a partir de 365 toneladas/año.

Es por esto que se propone implementar el modelo de Muñoz et al., 2021 debido a que reportan todo el proceso de producción desde una perspectiva técnica y económica, lo que facilita su implementación. Como aporte a la propuesta se sugiere establecer una biorrefinería de primera generación en el departamento de Santander, particularmente en la provincia Metropolitana, empleando biomasa cítrica y de maracuyá proveniente de cultivos, debido a su potencial de producción, pérdidas y desperdicios en el departamento (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2020; Federación de productores cítricos de Santander, 2021; Gaviria et al., 2016). Así mismo, se sugiere sustituir el ácido cítrico por ácido clorhídrico al 37% pH 1,5 y modificar los parámetros de extracción de la hidrólisis ácida (60°C, 1h a 90-100°C, 1 hora, máximo), ya que estos parámetros contribuyen con un menor impacto ambiental de la biorrefinería, según los resultados del Análisis de Ciclo de Vida desarrollado por Silva da Costa et al., 2022, y no afecta el rendimiento de extracción, contribuyendo a la obtención de pectinas de alto grado de metoxilo con posible aplicación para el desarrollo de biopolímeros (Bedoya et al., 2021; Fidalgo et al., 2016; Patsalou et al., 2020; Picot et al., 2020b; V. Yadav et al., 2022; Zannini et al., 2021). Por otra parte las tendencias y perspectivas en el desarrollo de biorrefinerías se enfocan en el aprovechamiento

total de la biomasa con el fin de aumentar la sustentabilidad del proceso mejorando el desempeño económico y ambiental, de esta manera minimizan el impacto ambiental generado por los residuos y usan integralmente las materias primas transformándolas en biocombustibles, bioenergía y bioproductos (Solarte et al., 2023; Wenger y Stern, 2021), por esta razón se plantea el aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la extracción de aceites esenciales y pectina a través de la producción de biogás de acuerdo al modelo de Ortiz et al., 2020.

El biogás obtenido puede emplearse para la generación de electricidad en la biorrefinería, reemplazando fuentes convencionales de consumo de energía eléctrica, con la finalidad de reducir los impactos ambientales de la biorrefinería o puede ser comercializado junto con la pectina y los aceites esenciales. Según Ortiz et al., 2020, se obtienen 89,39 Nm³/t de biogás con 66,73% de CH₄, este volumen produce 207 kWh por tonelada de biomasa procesada, considerando una eficiencia del transformador de energía térmica a eléctrica del 35% y el poder calorífico del metano (35,8 MJ/Nm³). Por otra parte, Muñoz, 2020 reporta que planta de biorrefinería emplea en el proceso industrial 38,033 kWh/ciclo y realiza 21 ciclos al mes, por lo cual el consumo eléctrico de la biorrefinería al mes es de 798,693 kWh/mes. Al comparar la energía generada por el biogás al mes (4,347 kWh/mes) con el consumo eléctrico del proceso industrial al mes se puede determinar que la energía producida por el biogás solo cubriría 0,114 ciclos al mes, siendo insuficiente para cubrir por lo menos un ciclo completo (Apéndice E), es por esto que también debe evaluarse la posibilidad de comercializar el biogás obtenido en lugar de emplearlo en la biorrefinería como generador de energía eléctrica.

4.3.4 Tendencias de mercado

Se realizó una revisión sobre las tendencias de mercado de los compuestos de interés obtenidos en el modelo de biorrefinería de pectinas propuesto, como los aceites esenciales, pectina y biogás; con el fin de identificar el mercado y las características de la demanda (**¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**)

¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida. **Tabla 7. Tendencias de mercado de los productos de la biorrefinería de pectinas**

Producto	Tendencias de mercado
Aceites esenciales	Contienen muchos compuestos bioactivos muy importantes en diferentes industrias como alimenticia, farmacéutica, cosmética y cuidado personal, perfumería y ciencias veterinarias, por sus propiedades antibacterianas, antifúngicas, insecticidas, antioxidantes, acaricidas, larvicidas, antiinflamatorias, citotóxicas y anestésicas, entre otras. Se estima que el 60% de la producción de aceites esenciales es empleada en la industria alimenticia como antioxidante y conservante debido a su potencial inhibidor de bacterias y hongos y finalmente como aromatizante de productos cárnicos, helados, dulces y bebidas (Cook y Lanaras, 2016). En la actualidad, el mercado mundial de aceites esenciales se valoró en 9,27 mil millones de dólares en 2023 y su tasa de crecimiento anual compuesta es del 6,3% de 2024 a 2032 (A Claight Enterprise, 2023). Esto ha sido impulsado debido a la creciente demanda de estos productos en la industria de alimentos, cosméticos, farmacéutica y agentes de limpieza debido a la creciente conciencia de los consumidores sobre necesidad de optar por productos libres de químicos convencionales que se perciben como puros, seguros y beneficiosos (IMARC, 2024a). También a la investigación sobre métodos de extracción alternativos a la destilación como lo son la extracción con CO2 y el prensado en frío, la extracción asistida por microondas o por ultrasonido junto con el desarrollo de nuevas formulaciones y mezclas (Grand View Research, 2024). Por otra parte, la regulación del uso de estos compuestos ha tenido un impacto significativo en este mercado debido a que el comité técnico de la Organización Internacional de Normalización ISO/TC 54 ha generado normas que estandarizan y ejercen un control de calidad y seguridad de estos productos en los mercados mundiales (Cook y Lanaras, 2016).
	El aceite de naranja dominó el mercado con una participación del 23% en el 2023 debido a la capacidad de mejorar la calidad de la piel, uñas y cabello; aumentando el interés de los consumidores por diferentes productos de cuidado personal que lo poseen como ingrediente. Los otros aceites esenciales que poseen mayor participación son el aceite de menta por su aplicación en aromaterapia y el aceite de davana por su aplicación en la elaboración de perfumes y agentes aromatizantes y el aceite de árbol de té usado en productos de cuidado personal, limpieza del hogar y como antiséptico natural (Grand View Research, 2024; IMARC, 2024). Por otra parte, el mercado del aceite esencial de limoneno ha experimentado un crecimiento significativo debido a que se valoró en 473,72 millones de dólares en el 2021 y se espera que alcance los 694,59 millones de dólares para el 2029 (Data Bridge Market, 2021). El mercado del limoneno se obtiene de los cítricos siendo la naranja el limón y la mandarina la fuente de obtención más importante y ya que Estados Unidos es el mayor productor de cítricos en el mundo se estima que Norte América posee una cuota significativa en este mercado (Mordor Intelligence, 2024a). Dependiendo de la aplicación final, el limoneno posee diferentes grados de calificación teniendo entonces un grado para la industria de alimentos, otro para la industria farmacéutica, otro para ser empleado en perfumería y finalmente un grado industrial (Data Bridge Market, 2021). El limoneno tiene diversas propiedades beneficiosas, como efectos antiinflamatorios, antioxidantes y antimicrobianos. Se usa en productos alimenticios como conservante y en la fabricación de productos de limpieza como desengrasantes y quitamanchas. Ayuda a eliminar aceites, grasas, adhesivos y chicles de las superficies, y se añade a limpiadores multiuso para potenciar su poder de limpieza y proporcionar un aroma agradable. Se espera un aumento en las aplicaciones del limoneno a nivel mundial, lo que impulsará el crecimiento del mercado (Grand ViewResearch, 2023b; Mordor Intelligence, 2024a).
	El tamaño del mercado de la pectina obtuvo una ganancia de 1,08 millones de dólares em el 2022 y se estima que para el 2028 alcance 10,7 millones de dólares(IMARC, 2024b). Este mercado posee cuatro segmentos, el primero corresponde a la <i>fuentes de obtención</i>, siendo las cáscaras de frutas cítricas las que dominan el mercado con un 85 % de participación (56 % de limones, 30 % de limas y 13 % de naranjas),

Producto	Tendencias de mercado
Pectina	de orujo de manzana con una participación del 14%, y una pequeña fracción se obtiene de la remolacha azucarera (Ciriminna et al., 2016; Mordor Intelligence, 2024b). El segundo segmento corresponde al <i>grado de esterificación</i>, según el grado se clasifican en alto contenido de metoxilo (HM) y bajo contenido de metoxilo (LM). La pectina HM participa más y se emplea en la industria alimentaria para producir jaleas ácidas porque mejora la viscosidad y aporta textura; y bebidas lácteas ácidas porque conserva y estabiliza la leche mientras da una sensación agradable en la boca. Por otra parte, la pectina LM representa una participación significativa ya que puede emplearse como espesante, gelificante y estabilizante, sustituto de grasas en productos horneados y como alternativa a productos con bajo contenido de azúcar (Emergen Research, 2022). El tercer segmento se relaciona con la <i>aplicación</i>, se utiliza ampliamente en la industria alimentaria para agregar textura a los alimentos y las bebidas, además se emplea como sustituto de grasas gracias a su comportamiento como hidrocoloide. En la industria cosmética y productos de cuidado personal se emplea como texturizante para ungüentos, cremas y aceites, también se usa como espesante y estabilizador en productos para el cabello como champús, tónicos y lociones porque poseen beneficios hidratantes. En la industria farmacéutica la pectina se emplea como aglutinante, estabilizador, agente de suspensión, agente aglutinante y agente formador de película para encapsular fármacos que permiten la liberación controlada del ingrediente activo. También ha sido estudiado el potencial como barrera radio protectora individual y en preparaciones para curar heridas (Ciriminna et al., 2016; Future Market Insights, 2023; Mordor Intelligence, 2024b). El último segmento corresponde a los <i>actores del mercado</i>, estos han concentrado su interés en la creación de nuevos e innovadores productos que posean formulaciones específicas para una aplicación por lo que han realizado inversiones considerables en el campo de investigación y desarrollo; estos actores son International Flavors Fragrances, Inc, Cargill Incorporated, Herbstreith Fox Corporate Group, CP Kelco Aps., Ingredion Inc y Royal DSM, entre otros (Mordor Intelligence, 2024b).
Biogás	El mercado del biogás está en expansión por el creciente uso de energías limpias contribuyendo a la gestión de residuos sostenible. En el 2023 se estimó en 65,53 mil millones de dólares y se proyecta que se expandirá a una tasa de crecimiento anual del 4,2% entre el 2024 y 2030(Grand ViewResearch, 2023a). Así mismo, el biogás mejora la eficiencia y la rentabilidad de los proyectos debido a la innovación tecnológica en la digestión anaeróbica, la purificación del biogás y la conversión del mismo en metano (International Energy Agency, 2020). A nivel mundial se están implementando políticas como “<i>Net-Zero Strategic Technologies</i>” y ofreciendo incentivos para promover la producción y el uso de biogás (Bioenergy Europe, 2023a), según el análisis de producción global y previsiones de biogases entregado por la Agencia Internacional de Energía por sus siglas en inglés IEA la producción de biogás ha aumentado significativamente desde el 2010 y se espera un crecimiento significativo hasta el 2028, siendo la Unión Europea y el Reino Unido los mayores productores (International Energy Agency, 2023). El biogás comercializado se utiliza para apoyar procesos de generación de electricidad, el transporte y en procesos industriales como fuente de calor (Bioenergy Europe, 2023b; Serrato M. y Lesmes C., 2016). En Colombia, la industria del biogás se encuentra en estado emergente y de acuerdo con el estudio desarrollado por Pérez-Rodríguez et al., en el 2022, el potencial de generación de biogás a partir de biomasa residual corresponde a 10,447 TJ/año lo que equivale al 8% de la energía suplida por el gas natural en el 2012. Dentro de los departamentos que poseen mayor disponibilidad de biogás de acuerdo con el potencial de biomasa residual, se encuentra el departamento de Santander (International Renewable Energy Agency, 2022). Así mismo, cabe resaltar que el gobierno colombiano promueve el uso de energías renovables incluido el biogás, mediante regulaciones y políticas como la Ley 1715 de 2014 y el Plan Nacional de Energías Renovables (Ley 1715 de 2014, 2014; Minenergía, 2020).

5. Conclusiones

Las tendencias de investigación identificadas a través de la minería de texto realizada en la base de datos Scopus muestra un interés creciente en el uso de pectinas obtenidas a partir de biomasa residual para el desarrollo de biopolímeros. Las principales fuentes de biomasa empleadas en estos procesos de extracción son los residuos de cítricos, manzana y remolacha, sin embargo, se ha contemplado emplear otras fuentes como los residuos de frutas tropicales y subtropicales. En relación con lo anterior, la gama de métodos de extracción es amplia, desde métodos convencionales con ácidos orgánicos o minerales hasta técnicas encaminadas hacia la sostenibilidad como la extracción asistida por microondas o por ultrasonido. La función y el tipo de pectina se caracteriza de acuerdo con sus propiedades físicas, ya que la pectina de alto o bajo grado de metoxilo determina las propiedades mecánicas y biológicas de los biopolímeros obtenidos. Las aplicaciones de estos biopolímeros, varía desde el uso en envases hasta su utilización farmacéutica o biomédica.

La interpretación de los datos obtenidos ha permitido identificar las ciencias agropecuarias y biológicas, química y ciencia de materiales como las áreas de investigación más prometedoras en el ámbito de los bioplásticos a base de pectina. El análisis de co-ocurrencia de palabras clave permite identificar las interrelaciones entre las líneas de trabajo en relación, identificando que las publicaciones están relacionadas con el estudio de las propiedades físicas y químicas de la pectina, sus aplicaciones en el desarrollo de biopolímeros y empaques que no solo sean funcionales, sino que también sean sustentables al minimizar los impactos ambientales generados por los plásticos convencionales. Según las investigaciones citadas, se observa un interés creciente en las investigaciones de pectinas y biopolímeros desde el 2013 hasta el 2023, encontrando que en los artículos más citados destacan mejoras en técnicas de extracción, aplicaciones nanotecnológicas y

la importancia de las biorrefinerías como metodología para obtener productos de valor agregado con residuos agrícolas.

A partir del análisis de minería de texto, se propone un modelo de biorrefinería de pectina para aprovechar la de biomasa cítrica y de maracuyá debido a la disponibilidad de materia prima en Santander. Este modelo incluye fases de pretratamiento de la biomasa, extracción de aceites esenciales, pectina y a partir de los residuos, la producción de biogás que podría emplearse en el mismo sistema o comercializarse con los otros productos.

6. Recomendaciones

Las recomendaciones que se darán a continuación se plantean con el fin de que haya una mejora continua en la implementación de la biorrefinería de pectinas a partir de biomasa cítrica en el departamento de Santander.

- Realizar el análisis de balance de masas de todas las operaciones unitarias de las 4 etapas del modelo de biorrefinería propuesto.
- Integrar procesos que permitan la producción de bioplásticos dentro de la biorrefinería.
- Emplear software de optimización para evaluar las mejoras al sistema de biorrefinería desde el desempeño económico.
- Realizar una evaluación ambiental bajo la metodología Análisis de Ciclo de Vida para determinar las contribuciones a los impactos ambientales propuestos en otros estudios relacionados con biorrefinerías de pectinas.

Referencias

- A Claight Enterprise. (2023). *Mercado Global de Aceites Esenciales*.
<https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-aceites-esenciales>
- Acevedo, V., y Ramírez, D. (2011). *Análisis técnico y económico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (Citrus sinensis)*. 16(22), 1–77.
- Adetunji, L. R., Adekunle, A., Orsat, V., y Raghavan, V. (2017). Advances in the pectin production process using novel extraction techniques: A review. *Food Hydrocolloids*, 62, 239–250.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2016.08.015>
- Aklilu, E. G. (2021). Modeling and optimization of pectin extraction from banana peel using artificial neural networks (ANNs) and response surface methodology (RSM). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(3), 2759–2773.
<https://doi.org/10.1007/s11694-021-00852-7>
- Albuquerque, B. R., Heleno, S. A. 8., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L., y Ferreira, I. C. F. R. (2021). Phenolic compounds: current industrial applications, limitations and future challenges. *Food y Function*, 12(1), 14–29. <https://doi.org/10.1039/D0FO02324H>
- Alcantara L., W. (2017). *Diseño de una planta a biogás para generación de energía electrica en Namora – Cajamarca*. Universidad César Vallejo.
- Alexandri, M., Schneider, R., Papapostolou, H., Ladakis, D., Koutinas, A., y Venus, J. (2019). Restructuring the Conventional Sugar Beet Industry into a Novel Biorefinery: Fractionation and Bioconversion of Sugar Beet Pulp into Succinic Acid and Value-Added Coproducts [Research-article]. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(7), 6569–6579. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b04874>
- Alfonso, E. (2010). Estudio del comportamiento reologico de las pectinas con diferente grado

galacturonico obtenida a partir de citrus paradisi (Gray Fruit). *Universidad De El Salvador*, 31.32.

- Almasi, H., Azizi, S., y Amjadi, S. (2020). Development and characterization of pectin films activated by nanoemulsion and Pickering emulsion stabilized marjoram (*Origanum majorana* L.) essential oil. *Food Hydrocolloids*, 99, 105338. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.105338>
- Alu'datt, M. H., Rababah, T., Alhamad, M. N., Al-Mahasneh, M. A., Almajwal, A., Gammoh, S., Ereifej, K., Johargy, A., y Alli, I. (2017). A review of phenolic compounds in oil-bearing plants: Distribution, identification and occurrence of phenolic compounds. *Food Chemistry*, 218, 99–106. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2016.09.057>
- Aristizábal, A., Manrique, M. R., y Pontificia Universidad Javeriana. (2017). *Ensayos y propiedades de los materiales* (Primera edición). Pontificia Universidad Javeriana.
- Arteaga, L. F. ., y Zavala, S. . (2018). Fabricación de plásticos biodegradables a base de pectina-alginato y polímeros de Agave para su utilización en la industria alimentaria. *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 678–691.
- Bagherian, H., Zokaee Ashtiani, F., Fouladitajar, A., y Mohtashamy, M. (2011). Comparisons between conventional, microwave- and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 50(11–12), 1237–1243. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.08.002>
- Baker, J., y Kim, S. (2012). The interaction of radio-frequency fields with dielectric materials at macroscopic to mesoscopic scales. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 117(1), 1–60. <https://doi.org/10.6028/jres.117.001>
- Baltazar Flores, R., Carbajal, D., Baca, N., y Salvador, D. (2013). Optimization of the conditions

of pectin extraction from lemon rind french (*Citrus medica*) using response surface methodology. *Agroindustrial Science*, 2, 77–89.

<https://doi.org/10.17268/agroind.science.2013.02.01>

Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., y Arora, A. (2018). A hydrocolloid based biorefinery approach to the valorisation of mango peel waste. *Food Hydrocolloids*, 77, 142–151. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2017.09.029>

Bedoya, S., Amar Gil, S., Barrera Z., R., Arriola V., E., y Ardila A., A. N. (2021). Escenario técnico y económico para la valorización integral a pequeña escala de residuos de naranja en Colombia. *Ingeniería*, 26(3), 367–380. <https://doi.org/10.14483/23448393.17783>

Benito, O., Alonso, P., Díaz De Cerio, E., Sanz, M. T., y Beltrán, S. (2022). Semi-continuous hydrolysis of onion skin wastes with subcritical water: Pectin recovery and oligomers identification. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107439>

Bioenergy Europe. (2023a). *Policy Brief: Biogas*. 2022–2023.

Bioenergy Europe. (2023b). *Statistical report Biogas2023*. 14–15.

Bishop, G., Styles, D., y Lens, P. N. L. (2021). Environmental performance comparison of bioplastics and petrochemical plastics: A review of life cycle assessment (LCA) methodological decisions. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105451. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105451>

Bizzani, M., William, D., Alberto, L., y David, M. (2020). Monitoring of soluble pectin content in orange juice by means of MIR and TD-NMR spectroscopy combined with machine learning. *Food Chemistry*, 332(February), 127383. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127383>

- Blanco, F., Steigerwald, H., Schülke, S., Vieths, S., Toda, M., y Scheurer, S. (2021). The Dietary Fiber Pectin: Health Benefits and Potential for the Treatment of Allergies by Modulation of Gut Microbiota. *Current Allergy and Asthma Reports*, 21(10). <https://doi.org/10.1007/s11882-021-01020-z>
- Brandizzi, F., Wilkerson, C., Kim, S. J., y Held, M. (2019). *Digestibility of plant biomass*.
- Butler, I. P., Banta, R. A., Tyuftin, A. A., Holmes, J., Pathania, S., y Kerry, J. (2023). Pectin as a biopolymer source for packaging films using a circular economy approach: Origins, extraction, structure and films properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 40, 101224. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2023.101224>
- Caicedo, J. F. B., Legarda, A. P. B., López, D. F., y Mora, O. O. (2022). Effect of different coating formulations with polysaccharide/protein mixture ratio for the preservation of lulo (*Solanum quitoense* L.). *Ciencia Tecnologia Agropecuaria*, 24(1). https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2857
- Chan, S. Y., y Choo, W. S. (2013). Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chemistry*, 141(4), 3752–3758. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.06.097>
- Chariguamán, J. (2015). Caracterización de bioplástico de almidón elaborado por el método de casting reforzado con albedo de maracuyá (*Passiflora edulis* spp.). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18–20. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4560/1/AGI-2015-014.pdf>
- Cho, C. W., Lee, D. Y., y Kim, C. W. (2003). Concentration and purification of soluble pectin from mandarin peels using crossflow microfiltration system. *Carbohydrate Polymers*, 54(1), 21–26. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(03\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(03)00133-4)

- Cho, E. H., Jung, H. T., Lee, B. H., Kim, H. S., Rhee, J. K., y Yoo, S. H. (2019). Green process development for apple-peel pectin production by organic acid extraction. *Carbohydrate Polymers*, 204(September 2018), 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.086>
- Chodijah, S., Husaini, A., Zaman, M., y Hilwatulisan. (2019). Extraction of Pectin from Banana Peels (*Musa Paradisiaca Fomatypica*) for Biodegradable Plastic Films. *Journal of Physics: Conference Series*, 1167(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1167/1/012061>
- Ciriminna, R., Chavarría, N., Inés Rodríguez, A., y Pagliaro, M. (2015). Pectin: A new perspective from the biorefinery standpoint. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 9(4), 368–377. <https://doi.org/10.1002/BBB.1551>
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Delisi, R., Ilharco, L. M., y Pagliaro, M. (2016). Pectin production and global market. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 27(5), 17–20.
- Comisión Europea. (2022). *Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones sobre el plan de acción para el desarrollo de la producción ecológica*. <https://www.mapa.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gasto-en-productos-ecologicos-en-espana-se-incrementa-un-7-con-respecto-al-año-anterior-/tcm:30-583763>
- Ley 1715 de 2014, Diario Oficial 104 (2014).
- Congreso de la República de Colombia. (2022). *Ley 2232 de 2022*. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=125439>
- Cook, C. M., y Lanaras, T. (2016). Essential Oils: Isolation, Production and Uses. In *Encyclopedia of Food and Health* (1st ed.). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00261-0>
- Corona, A., Parajuli, R., Ambye, M., Hauschild, M. Z., y Birkved, M. (2018). Environmental

- screening of potential biomass for green biorefinery conversion. *Journal of Cleaner Production*, 189, 344–357. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.03.316>
- Coronado, M. A., y Ayala, J. R. (2024). Biomass: The novel green gold: Current trends and future uses of biomass resources. *Biomass: The Novel Green Gold: Current Trends and Future Uses of Biomass Resources*, 1–323. <https://doi.org/10.52305/CBNT1223>
- Cybulska, J., Zdunek, A., y Kozioł, A. (2015). The self-assembled network and physiological degradation of pectins in carrot cell walls. *Food Hydrocolloids*, 43, 41–50. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2014.04.032>
- Data Bridge Market. (2021). *Mercado global de D-limoneno: tendencias de la industria y pronóstico hasta 2029*. <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-d-limonene-market>
- de Lima, D. J., Buzanello, C. V., Oliveira, L., y da Silva, R. A. (2020). Polyphenols as natural antioxidants in cosmetics applications. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19(1), 33–37. <https://doi.org/10.1111/JOCD.13093>
- de Oliveira, C., Giordani, D., Lutkemier, R., Gurak, P. D., Cladera-Olivera, F., y Ferreira Marczak, L. D. (2016). Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. *LWT - Food Science and Technology*, 71, 110–115. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.03.027>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, D. (2020). Encuesta nacional agropecuaria (ENA). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE*, 1, 1–89. [https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena#:~:text=Información 2019ytext=El total del uso del,hectáreas\(2%2C6%25\).%0Ahttps://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-](https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena#:~:text=Información 2019ytext=El total del uso del,hectáreas(2%2C6%25).%0Ahttps://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-)

tema/agropecuaria/encuest

- Dikmetas, D. N., Devecioglu, D., Karbancioglu, F., y Kahveci, D. (2024). Sequential Extraction and Characterization of Essential Oil, Flavonoids, and Pectin from Industrial Orange Waste. *ACS Omega*, 9(12), 14442–14454. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c00112>
- do Nascimento, A., de Almeida, D., Basílio, E., Henriques, S., Stringheta, P. C., y Mota, A. (2018). Optimization of pectin extraction from Ubá mango peel through surface response methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 113, 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.154>
- Dos Reis Martelli, M., De Barros, T. T., y Assis, O. B. G. (2014). Filmes de polpa de banana produzidos por batelada: Propriedades mecânicas e coloração. *Polimeros*, 24(1), 137–142. <https://doi.org/10.4322/polimeros.2014.062>
- Durán, D. D., Ramírez, C. J. A., Díaz, L. C. V., Valderrama, M. A., Sierra, R., Durán, D. D., Ramírez, C. J. A., Díaz, L. C. V., Valderrama, M. A., y Sierra, R. (2021). Production of Pectin from Citrus Residues: Process Alternatives and Insights on Its Integration under the Biorefinery Concept. *Pectins - The New-Old Polysaccharides*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.100153>
- Durán, R., y Villa, A. L. (2014). Microwave assisted extraction of essential oil and pectin from orange peel in different stages of maturity [Extracción asistida por microondas de aceite esencial y pectinas de cáscaras de naranja a diferentes estados de madurez]. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 31(1), 145–158. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84900024492ypartnerID=40ymd5=50926736c5770b2a2da49ecf8703bf53>
- Durán, D., Figueroa, Á., Gualdrón, M. A., y Sierra, R. (2018). Potential of tropical fruit waste in

- bioenergy processes and bioproducts design. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*, 2018(26thEUBCE), 166–174.
<https://doi.org/10.5071/26thEUBCE2018-1AV.2.18>
- Dussán, K. J., de Mello, G. F., Floriam, B. G., Ortiz, M., Carmona, E., Cardona, C. A., y Silva, D. D. V. (2019). Sugarcane Biofuel Production in Colombia. *Sugarcane Biofuels*, 237–265.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-18597-8_11
- Emergen Research. (2022). *Mercado de Pectina previsto para el 2030*.
<https://www.emergenresearch.com/es/industry-report/pectina-mercado>
- Esparza, R. M., Macías, M. E., Cabrera, E., Valencia, A. J., y Estrada, Y. (2019). Utilization of by-products of *Hibiscus sabdariffa* L. as alternative sources for the extraction of high-quality pectin. *Food Science and Biotechnology*, 28(4), 1003–1011.
<https://doi.org/10.1007/s10068-019-00557-0>
- Essaddam, H. (2015). *Process for Isolating Cellulose From Cellulosic Biomass, Isolated Cellulose of Type I and Composite Materials Comprising Same*.
- Fan, F., Saha, S., y Hanjaya, D. (2021). Biomimetic Hydrogels to Promote Wound Healing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9(September), 1–24.
<https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.718377>
- Federación de productores cítricos de Santander. (2021). *Producción de cítricos en Santander*.
<https://www.fedecitrisantander.com/portafolio>
- Federación Nacional de Biocombustibles. (2019). *Precios de Acohol Carburante*.
<https://fedebiocombustibles.com/statistics/#>
- Fidalgo, A., Ciriminna, R., Carnaroglio, D., Tamburino, A., Cravotto, G., Grillo, G., Ilharco, L. M., y Pagliaro, M. (2016). Eco-Friendly Extraction of Pectin and Essential Oils from

- Orange and Lemon Peels. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 4(4), 2243–2251.
<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b01716>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, F. (2022). *Bioeconomía Sostenible Y La Fao*.
- Fukaya, Y., Sugimoto, A., y Ohno, H. (2006). Superior solubility of polysaccharides in low viscosity, polar and halogen-free 1,3-dialkylimidazolium formates. *Biomacromolecules*, 7(12), 3295–3297. <https://doi.org/10.1021/bm060327d>
- Future Market Insights. (2023). *Citrus Pectin Market*.
- García, A. (2015). Obtención de un polímero biodegradable a base de almidón de maíz. In *International Journal of Modern Physics B* (Vol. 25, Issue 26).
<https://doi.org/10.1142/S0217979211101259>
- Gaviria, S., Mejia, L. F., Castro, M. F., Gómez, E. A., y Castro, F. (2016). Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia. *Departamento Nacional de Planeación*, 39, 116.
- Gaviria, A., Manrique, E., Di Palma, F., Poveda, G., Baena, S., Duque, C., Restrepo, S., Noriega, M. del P., Eisenhauer, M., Henry, G., Hodson, E., y Wessjohann, L. (2021). Ciencia y Tecnología: Fundamento de la Bioeconomía. Propuestas del Foco de Biotecnología, Bioeconomía y Medio Ambiente. Volumen 3. In *Ciencia y tecnología: Fundamento de la bioeconomía y medio Ambiente* (Vol. 3).
https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/ciencia_y_tecnologia_sabios_vol_3.pdf
- Ghasemi, S., Jafari, S. M., Assadpour, E., y Khomeiri, M. (2017). Production of pectin-whey protein nano-complexes as carriers of orange peel oil. *Carbohydrate Polymers*, 177, 369–377. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2017.09.009>

- Goodman, B., y Davitt, C. (2019). *Compositions and Methods for Treating Cancer Using Neisseria Bacteria*.
- Goodman, B., Sandy, P., Sizova, M., y Ponichtera, H. (2019). *Compositions and Methods for Treating Cancer Using Ruminococcus Gnavus*.
- Goodman, B., Sizova, M., Sandy, P., y Ponichtera, H. (2018). *Compositions and Methods for Treating Cancer Using Lactobacillus Salivarius*.
- Grand ViewResearch. (2023a). *Biogas Market 2024-2030*.
<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biogas-market>
- Grand ViewResearch. (2023b). *Informe de análisis de tendencias, participación y tamaño del mercado de limoneno 2023-2030*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/limonene-market-report>
- Grand ViewResearch. (2024). *Informe de análisis de tendencias, participación y tamaño del mercado de aceites esenciales*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/essential-oils-market>
- Grande, C. D. (2016). Valoración Biotecnológica De Residuos Agrícolas Y Agroindustriales. In *Valoración biotecnológica de residuos agrícolas y agroindustriales*.
<http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/4588/1/9789588785813.pdf>
- Greenfell, D., Schafer, C., Treganowan, J., y Santos, C. (2016). *Biomass formulation*.
- Guandalini, B. B. V., Rodrigues, N. P., y Marczak, L. D. F. (2019). Sequential extraction of phenolics and pectin from mango peel assisted by ultrasound. *Food Research International*, 119(November 2018), 455–461.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.011>
- Gurram, R., Souza, P. F., Taherzadeh, M. J., y Zamani, A. (2018). A Solvent-Free Approach for

- Production of Films from Pectin and Fungal Biomass. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(11), 4282–4292. <https://doi.org/10.1007/s10924-018-1300-x>
- Hadson, E., Henry, G., y Trigo, E. (2019). *La bioeconomía: nuevo marco para el crecimiento sostenible en América Latina*. Pontificia Universidad Javeriana. <https://elibro.net/es/lc/usta/titulos/167770>
- Hansen, J. H., Henriksen, W. D., Perdersen, H. L., Perdersen, T. E., y Staunstrup, J. A. (2020). *WO 2020/035461 A1*.
- Hasem, N. H., Mohamad, S. F. Z., Kormin, F., Abu, M. F., y Sabran, S. F. (2019). Extraction and partial characterization of durian rind pectin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 269(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/269/1/012019>
- Hennessey, L., Murillo, W., Vasco, J., y Astudillo, I. C. P. (2021). Enzymatic extraction and characterization of pectin from cocoa pod husks (*Theobroma cacao* L.) using celluclast® 1.5 L. *Molecules*, 26(5). <https://doi.org/10.3390/molecules26051473>
- Hepworth, D., Whale, B., Lund, H., Kalum, L., Ulvskov, P., y Jorgensen, B. (2017). *Cellulose microfibrils*.
- Herr, J. C., Klivanov, A. L., y Eisenfrats, K. S. (2022). *Occlusive implant compositions - The Lens - Free y Open Patent and Scholarly Search* (Patent No. US 11278641 B2). <https://www.lens.org/lens/patent/012-917-257-218-508/frontpage?l=en>
- Hilali, S., Fabiano, A. S., Ruiz, K., Hejjaj, A., Ait Nouh, F., Idlimam, A., Bily, A., Mandi, L., y Chemat, F. (2019). Green Extraction of Essential Oils, Polyphenols, and Pectins from Orange Peel Employing Solar Energy: Toward a Zero-Waste Biorefinery. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(13), 11815–11822. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02281>

- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., y Yarmand, M. S. (2016). Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 140, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.12.051>
- Hu, W., Zhao, Y., Yang, Y., Zhang, H., Ding, C., Hu, C., Zhou, L., Zhang, Z., Yuan, S., Chen, Y., y Yuan, M. (2019). Microwave-assisted extraction, physicochemical characterization and bioactivity of polysaccharides from *Camptotheca acuminata* fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.086>
- Humpiri, Y. (2018). *Reutilización De Residuos De La Cáscara De Banano (Musa Cavendish) Y Plátano (Musa Paradisiáca) Para La Obtención De Bioplásticos*. 139.
- Hyungkoun, C., Cheolhyoun, A., Deshpande, N. G., y Koli, R. R. (2021). *Method for Producing Metal Nanoparticle Materials Using Biomass*. <https://www.lens.org/lens/patent/107-467-323-389-815/frontpage>
- ICONTEC. (2006). *GTC* 53-7.
- Ilghami, A., Ghanbarzadeh, S., y Hamishehkar, H. (2015). Optimization of the ultrasonic-assisted extraction of phenolic compounds, ferric reducing activity and antioxidant activity of the *Beta vulgaris* using response surface methodology. *Pharmaceutical Sciences*, 21(1), 46–50. <https://doi.org/10.15171/PS.2015.16>
- IMARC. (2024a). *Informe de mercado de aceites esenciales 2023-2028*. <https://www.imarcgroup.com/report/es/essential-oils-market>
- IMARC. (2024b). *Perspectivas del mercado mundial de la pectina - 2028*. <https://www.imarcgroup.com/report/es/pectin-technical-material-market-report>
- Inayati, Puspita, R. I., y Fajrin, V. L. (2018). Extraction of Pectin from Passion Fruit Peel

(*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener) for edible coating. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 460–472. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09254-9>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2022). Estado de los biocombustibles líquidos en las Américas, 2022. In *Analytical Biochemistry* (Vol. 11, Issue 1). <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1>.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-1>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024>
<https://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103>
<http://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>

International Energy Agency. (2020). *Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth*. <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>

International Energy Agency. (2023). *Global historical production and forecast of biogases, 2010-2028*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-historical-production-and-forecast-of-biogases-2010-2028>

International Pectin Producers Association IPPA. (2019). the Molecular Structure of Pectin. *International Pectin Producers Association*.

International Renewable Energy Agency. (2022). *Renewable Capacity Statistics 2022*. www.irena.org

Jacobo, D. A., y Cisneros, L. (2020). Bioactive Phenolics and Polyphenols: Current Advances and Future Trends. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(17), 1–4. <https://doi.org/10.3390/IJMS21176142>

Jafarzadeh, M., Shaddel, R., y Peighambaroust, S. H. (2021). Sugar beet pectin extracted by ultrasound or conventional heating: a comparison. *Journal of Food Science and*

- Technology*, 58(7), 2567–2578. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04763-1>
- Jang, S. K., Jung, C. D., Seong, H., Myung, S., y Kim, H. (2022). An integrated biorefinery process for mandarin peel waste elimination. *Journal of Cleaner Production*, 371(August). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133594>
- Jong, S. H., Abdullah, N., y Muhammad, N. (2023). Optimization of low-methoxyl pectin extraction from durian rinds and its physicochemical characterization. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 5(November 2022), 100263. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2022.100263>
- Kamma, M., Lin, W. C., Lau, S. C., Chansakaow, S., y Leelapornpisid, P. (2019). Anti-aging cosmeceutical product containing of *Nymphaea rubra* Roxb. ex Andrews extract. *Chiang Mai Journal of Science*, 46(6), 1143–1160.
- Kaya, M., Sousa, A. G., Crépeau, M. J., Sørensen, S. O., y Ralet, M. C. (2014). Characterization of citrus pectin samples extracted under different conditions: Influence of acid type and pH of extraction. *Annals of Botany*, 114(6), 1319–1326. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu150>
- Kazemi, M., Khodaiyan, F., Hosseini, S. S., y Najari, Z. (2019). An integrated valorization of industrial waste of eggplant: Simultaneous recovery of pectin, phenolics and sequential production of pullulan. *Waste Management*, 100, 101–111. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.09.013>
- Khan, A. A., Butt, M. S., Randhawa, M. A., Karim, R., Sultan, M. T., y Ahmed, W. (2014). Extraction and characterization of pectin from grapefruit (Duncan cultivar) and its utilization as gelling agent. *International Food Research Journal*, 21(6), 2195–2199.
- Klaassen, P., y Hartman, W. A. (2015). *Glycerol and Acetic Acid Converting Cells With Improved Glycerol Transport*.

- Klaassen, P., y Hartman, W. A. (2018). *Glycerol and acetic acid converting yeast cells with improved acetic acid conversion*. <https://doi.org/10.1016/j.ymben.2008.08.005>
- Kocira, A., Kozłowicz, K., Panasiewicz, K., Staniak, M., Szpunar-Krok, E., y Hortyńska, P. (2021). Polysaccharides as edible films and coatings: Characteristics and influence on fruit and vegetable quality—a review. In *Agronomy* (Vol. 11, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/agronomy11050813>
- Kodoth, A. K., y Badalamoole, V. (2019). Pectin Based Graft Copolymer-ZnO Hybrid Nanocomposite for the Adsorptive Removal of Crystal Violet. *Journal of Polymers and the Environment*, 27, 2040–2053. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01488-x>
- Kundu, D., Banerjee, S., Karmakar, S., y Banerjee, R. (2021). Valorization of citrus lemon wastes through biorefinery approach: An industrial symbiosis. *Bioresource Technology Reports*, 15(May). <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100717>
- Kusrini, E., Wicaksono, W., Gunawan, C., Daud, N. Z. A., y Usman, A. (2018). Kinetics, mechanism, and thermodynamics of lanthanum adsorption on pectin extracted from durian rind. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 6580–6588. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2018.10.018>
- Lama, J. A. (2018). Elaboración de bioplástico aprovechando la pectina presente en la cascara de naranja valencia (*Citrus × sinensis*) reforzado con almidón de yuca a nivel de laboratorio – UCV sede Lima Norte 2018. *Universidad César Vallejo*.
- Lei, Y., Wu, H., Jiao, C., Jiang, Y., Liu, R., Xiao, D., Lu, J., Zhang, Z., Shen, G., y Li, S. (2019). Investigation of the structural and physical properties, antioxidant and antimicrobial activity of pectin-konjac glucomannan composite edible films incorporated with tea polyphenol. *Food Hydrocolloids*, 94, 128–135.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.03.011>

- Lettner, M., Schögggl, J. P., y Stern, T. (2017). Factors influencing the market diffusion of bio-based plastics: Results of four comparative scenario analyses. *Journal of Cleaner Production*, 157, 289–298. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.077>
- Liew, S. Q., Chin, N. L., y Yusof, Y. A. (2014). Extraction and Characterization of Pectin from Passion Fruit Peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 231–236. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2014.11.033>
- Lin, C. B., Kai, N. Y., y Ali, A. (2018). Ultrasound assisted extraction of pectin from dragon fruit peels. *Journal of Engineering Science and Technology*, 13(Special Issue on the seventh eureka 2016), 65–81. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85057071599ypartnerID=40ymd5=55d8cba1af33f14e0edf353a22978601>
- Liu, Y., Cheng, Y., Yu, X., Zhu, J., Chen, K., Kuang, Y., Wu, K., y Jiang, F. (2024). Konjac glucomannan films incorporated pectin-stabilized Mandarin oil emulsions: Structure, properties, and application in fruit preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 267, 131292. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2024.131292>
- Lopez, P., Martinez, M., Bonilla, M. R., Sonni, F., Gilbert, E. P., y Gidley, M. J. (2020). Nanostructure and poroviscoelasticity in cell wall materials from onion, carrot and apple: Roles of pectin. *Food Hydrocolloids*, 98(April 2019), 105253. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105253>
- López, D. F., Osorio, O., y Checa, O. E. (2019). Propiedades Mecánicas de un Material de Pectina para Revestimiento de Fibras Naturales Utilizadas en Aplicaciones Agrícolas. *Información Tecnológica*, 30(3), 189–198. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000300189>
- Mahongnao, S., Sharma, P., y Nanda, S. (2023). Conversion of waste materials into different by-

- products of economic value. *Waste Management and Resource Recycling in the Developing World*, 665–699. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90463-6.00030-0>
- Manhongo, T. T., Chimphango, A., Thornley, P., y Röder, M. (2021). An economic viability and environmental impact assessment of mango processing waste-based biorefineries for co-producing bioenergy and bioactive compounds. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148(May). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111216>
- Mantilla, M., Durán, D., y Sierra, R. (2021). Extraction of pectin from mango (*Mangifera Indica*) peels. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings, August*, 882–888. <https://doi.org/10.5071/29thEUBCE2021-3BV.10.2>
- Marenda, F. R. B., Colodel, C., Canteri, M. H. G., de Olivera, C. M., Amante, E. R., de Oliveira Petkowicz, C. L., y de Mello Castanho Amboni, R. D. (2019). Investigation of cell wall polysaccharides from flour made with waste peel from unripe banana (*Musa sapientum*) biomass. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(9), 4363–4372. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9670>
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., y Rimac, S. (2018). An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science y Technology*, 76, 28–37. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.03.022>
- Marić, M., Grassino, A. N., Zhu, Z., Barba, F. J., Brnčić, M., Rimac, S., Naghshineh, M., Olsen, K., Georgiou, C. A., Sabater, C., Corzo, N., Olano, A., Montilla, A., Vasco, J., Zapata, A. D., Vriesmann, L. C., Teófilo, R. F., Lúcia, C., Picot-Allain, M. C. N., ... Emmambux, M. N. (2018). Sustainable production of pectin from lime peel by high hydrostatic pressure treatment. *LWT*, 80(2), 280–285. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.02.055>

- Matharu, A. S., Houghton, J. A., Lucas, C., y Moreno, A. (2016). Acid-free microwave-assisted hydrothermal extraction of pectin and porous cellulose from mango peel waste-towards a zero waste mango biorefinery. *Green Chemistry*, 18(19), 5280–5287. <https://doi.org/10.1039/c6gc01178k>
- Mellinas, C., Ramos, M., Jiménez, A., y Garrigós, M. C. (2020). *materials Recent Trends in the Use of Pectin from Agro-Waste Residues as a Natural-Based Biopolymer for Food Packaging Applications*. <https://doi.org/10.3390/ma13030673>
- Meneguzzo, F., Brunetti, C., Fidalgo, A., Ciriminna, R., Delisi, R., Albanese, L., Zabini, F., Gori, A., Nascimento, L. B. dos S., De Carlo, A., Ferrini, F., Ilharco, L. M., y Pagliaro, M. (2019). Real-scale integral valorization of waste orange peel via hydrodynamic cavitation. *Processes*, 7(9), 1–24. <https://doi.org/10.3390/pr7090581>
- Merchan, J. P., Ballesteros, D., Jimenez, I. C., Medina, J. A., y Álvarez, O. (2009). Estudio de la Biodegradación Aerobia de Almidón Termoplástico (TPS). *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 2009, 1(1), 39–44. <http://www.rlmm.org/archives.php?f=/archivos/S01/N1/RLMMArt-09S01N1-p39.pdf>
- Meza, D. C., Hernandez, C., y Quintero, J. I. (2024). Physicochemical characterization of the pod husk of *Theobroma cacao* L. of clones CCN51, FEAR5, and FSV41 and its agroindustrial application. *Heliyon*, 10(7), e28761. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28761>
- MinCiencias. (2020). *Bioeconomia para una Colombia Potencia viva y diversa: Hacia una sociedad impulsada por el Conocimiento*. (p. 48).
- Minenergía. (2020). Plan Energético Nacional 2020-2050. *Plan Energético Nacional 2020-2050*, 34. https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/PEN_2020_2050/Plan_Energetico_Naci

onal_2020_2050.pdf

Ministerio de Agricultura. (2017). Área sembrada y área cosechada del cultivo de producción y rendimiento del cultivo de maracuyá 2007-2017. *Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural*, 5–8.

Mordor Intelligence. (2024a). *Tamaño del mercado de limoneno y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*.
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/limonene-market>

Mordor Intelligence. (2024b). *Tamaño del mercado de pectina y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*.
<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/pectin-market>

Muñoz, N., Valadez, L., Mendiola, J. A., Ibáñez, E., y Villamiel, M. (2019). Structural characterisation of pectin obtained from cacao pod husk. Comparison of conventional and subcritical water extraction. *Carbohydrate Polymers*, 217, 69–78.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.04.040>

Muñoz, P. (2020). *Estudio de prefactibilidad técnico-económico de una biorrefinería a partir de cáscara de naranja para la industria cosmética y alimenticia*. Universidad San Francisco de Quito USFQ.

Muñoz, P., Almeida-Streitwieser, D., Fonseca-Ashton, J. D., y Alvarez-Barreto, J. F. (2021). Estudio de pre-factibilidad técnica y económica de la implementación de una biorrefinería para la conversión de residuos de cáscara de naranja. *ACI Avances En Ciencias e Ingenierías*, 13(2), 14. <https://doi.org/10.18272/aci.v13i2.2289>

Muñoz, N. (2015). *Obtención y caracterización de pectinas modificadas mediante tratamientos químicos y físicos*. 2–11.

- Murillo, S. L., Galvis, J. D., y Orrego, C. E. (2023). Encapsulation of Euterpe oleracea pulp by vacuum drying: Powder characterization and antioxidant stability. *Journal of Food Engineering*, 345(September 2022), 111416. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111416>
- Nadar, C. G., Arora, A., y Shastri, Y. (2022). Sustainability Challenges and Opportunities in Pectin Extraction from Fruit Waste. *ACS Engineering Au*, 2(2), 61–74. <https://doi.org/10.1021/acsengineeringau.1c00025>
- Najari, Z., Khodaiyan, F., Yarmand, M. S., y Hosseini, S. S. (2022). Almond hulls waste valorization towards sustainable agricultural development: Production of pectin, phenolics, pullulan, and single cell protein. *Waste Management*, 141(February), 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.01.007>
- Navia, D., y Bejarano, N. (2014). Evaluación de propiedades físicas de bioplásticos termo-comprimidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 40–48.
- Noreen, A., Nazli, Z. i. H., Akram, J., Rasul, I., Mansha, A., Yaqoob, N., Iqbal, R., Tabasum, S., Zuber, M., y Zia, K. M. (2017). Pectins functionalized biomaterials; a new viable approach for biomedical applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 254–272. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.029>
- OCDE/FAO. (2023). *OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2023-2032*.
- Olsen, H. B., Andersen, M., y Trudsø, J. E. (2022). *Dewatering Biomass Material Comprising Polysaccharide, Method for Extracting Polysaccharide From Biomass Material, and Dewatered Biomass Material*.
- OMPI (Organización Mundial de Propiedad Intelectual). (2022). *Clasificación Internacional de*

Patentes (CIP) ¿ Qué es la CIP ?

- Ortiz, M., Solarte, J. C., Orrego, C. E., Acosta, C. D., y Cardona, C. A. (2020). Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment. *Biomass Conversion and Biorefinery* 2020 11:2, 11(2), 645–659. <https://doi.org/10.1007/S13399-020-00627-Y>
- Pacheco, T., Villamiel, M., Moreno, R., y Moreno, F. J. (2019). Structural and rheological properties of pectins extracted from industrial sugar beet by-products. *Molecules*, 24(3). <https://doi.org/10.3390/molecules24030392>
- Palko, A., Maksymowicz, J., Sobieszczańska, B., Wikiera, A., Skonieczna, M., Wesołowska, O., y Środa, K. (2021). Newly obtained apple pectin as an adjunct to irinotecan therapy of colorectal cancer reducing e. Coli adherence and β -glucuronidase activity. *Cancers*, 13(12), 2952. <https://doi.org/10.3390/CANCERS13122952/S1>
- Pasandide, B., Khodaiyan, F., Mousavi, Z. E., y Hosseini, S. S. (2017). Optimization of aqueous pectin extraction from Citrus medica peel. *Carbohydrate Polymers*, 178, 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.098>
- Patsalou, M., Chrysargyris, A., Tzortzakis, N., y Koutinas, M. (2020). A biorefinery for conversion of citrus peel waste into essential oils, pectin, fertilizer and succinic acid via different fermentation strategies. *Waste Management*, 113, 469–477. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.020>
- Pattillo, A. H. (2022). *Enhanced aerobic fermentation methods for producing edible fungal mycelium blended meats and meat analogue compositions - The Lens - Free y Open Patent and Scholarly Search* (Patent No. US 11432574 B2). <https://www.lens.org/lens/patent/013-370-236-160-52X/frontpage?l=en>

- Paulino, J., Dias, C., Eleutherio, E. C. A., Bonatto, D., Malavazi, I., y Ferreira, A. (2018). Improvement of Brazilian bioethanol production – Challenges and perspectives on the identification and genetic modification of new strains of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts isolated during ethanol process. *Fungal Biology*, 122(6), 583–591. <https://doi.org/10.1016/J.FUNBIO.2017.12.006>
- Pérez, D., Galán, Á., Contreras, M. del M., y Castro, E. (2023). Integrated techno-economic and environmental assessment of biorefineries: review and future research directions. *Sustainable Energy y Fuels*, 7(17), 4031–4050. <https://doi.org/10.1039/D3SE00405H>
- Pérez, C. P., Ríos, L. A., Duarte, C. S., Montaña, A., y García, C. (2022). Harnessing Residual Biomass as a Renewable Energy Source in Colombia: A Potential Gasification Scenario. *Sustainability (Switzerland)*, 14(19), 1–14. <https://doi.org/10.3390/su141912537>
- Phaiphan, A., Churat, S., Doungta, T., Wichalin, P., Khanchai, W., y Penjumras, P. (2020). Effects of microwave and ultrasound on the extraction of pectin and its chemical characterisation of banana (*Musa sapientum* L.) peels. *Food Research*, 4(6), 2030–2036. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(6\).248](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(6).248)
- Picot, M. C. N., Ramasawmy, B., y Emmambux, M. N. (2020). Extraction, Characterisation, and Application of Pectin from Tropical and Sub-Tropical Fruits: A Review. *Food Reviews International*. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1733008>
- PlasticEurope. (2019). Plásticos – Situación en 2019. *Plastic Europe*, 46. <https://www.plasticseurope.org/es/resources/publications/2511-plasticos-situacion-en-2019>
- PNUMA. (2018). *El estado de los plásticos: Una hoja de ruta para la sostenibilidad*. 20. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25513/state_plastics_WED_SP.p

df?sequence=5&isAllowed=y

- Ponce, I. (2021). *Economía circular , bioeconomía y biorrefinerías*. February.
- Pronk, J. T., Van Maris, A. J., y Guadalupe, V. G. (2016). *Fermentative glycerol-free ethanol production*.
- Quintero, C. R., Fernández, P. V., Ciancia, M., López, A., Goyanes, S., Bertuzzi, M. A., y Foresti, M. L. (2023). Antioxidant Edible Films Based on Pear Juice and Pregelatinized Cassava Starch: Effect of the Carbohydrate Profile at Different Degrees of Pear Ripeness. *Polymers*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/polym15214263>
- Rahmani, Z., Khodaiyan, F., Kazemi, M., y Sharifan, A. (2020). Optimization of microwave-assisted extraction and structural characterization of pectin from sweet lemon peel. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 1107–1115. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.079>
- Rivera, E. E., Quintana, M. F., y González, M. M. (2024). Acid-catalyzed transformation of orange waste into fur- fural : the effect of pectin degree of esterification. *Bioresources and Bioprocessing*, 1–28. <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00768-2>
- Riveros, M., Zalazar, D., Mut, I., Torres, R., Fabani, M. P., Rodriguez, R., y Mazza, G. (2022). Multiobjective Optimization and Implementation of a Biorefinery Production Scheme for Sustainable Extraction of Pectin from Quince Biowaste. *ACS Engineering Au*, 2(6), 496–506. <https://doi.org/10.1021/acsengineeringau.2c00018>
- Rochman, C. M., Cook, A.-M., y Koelmansk, A. A. (2016). *Plastic debris and policy: Using current scientific understanding to invoke positive change; Plastic debris and policy: Using current scientific understanding to invoke positive change*. <https://doi.org/10.1002/etc.3408>

- Rodsamran, P., y Sothornvit, R. (2019). Microwave heating extraction of pectin from lime peel: Characterization and properties compared with the conventional heating method. *Food Chemistry*, 278, 364–372. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.067>
- Rojas, R., Contreras, J. C., Orozco, M. T., Muñoz, C., Aguirre, J. A., y Aguilar, C. N. (2015). Mango Peel as Source of Antioxidants and Pectin: Microwave Assisted Extraction. *Waste and Biomass Valorization*, 6(6), 1095–1102. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9401-4>
- Roman, A., Contador, C. A., Li, M. W., Lam, H. M., Ah, K., Ulloa, P. E., y Ravanal, M. C. (2023). Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues. *Food Chemistry Advances*, 2, 100192. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100192>
- Ross, C., Dybvik, H. W., y Munck, G. H. (2019). *Compositions Containing Activated Pectin-Containing Biomass Composition, And Methods Of Manufacturing Such Compositions*.
- Roy, M. C., Alam, M., Saeid, A., Das, B. C., Mia, M. B., Rahman, M. A., Eun, J. B., y Ahmed, M. (2018). Extraction and characterization of pectin from pomelo peel and its impact on nutritional properties of carrot jam during storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13411>
- Ruiz, E., Moreno, J., y Suárez, R. (2019). Buenas prácticas corporativas en materia de reducción de pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe. *Banco Interamericano de Desarrollo*, 5–50. https://foretica.org/Buenas_practicas_corporativas_en_materia_de_reducción_de_pérdidas_y_desperdicios_de_alimentos_en_América_Latina_y_el_Caribe_es_es.pdf
- Sabater, C., Villamiel, M., y Montilla, A. (2022). Integral use of pectin-rich by-products in a biorefinery context: A holistic approach. *Food Hydrocolloids*, 128, 107564.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107564>

Saha, D., y Bhattacharya, S. (2010). Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: A critical review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 587–597.

<https://doi.org/10.1007/s13197-010-0162-6>

Salahuddin, M., Basri, M., Nadiah, N., Karim, A., Sulaiman, A., Syafinaz, I., Amin, M., Zuhair, M., Nor, M., y Ariffin, S. H. (2021). Progress in the Valorization of Fruit and Vegetable Wastes : Technologies Used for Bioactive Compound Extraction. *Polymers*, 13, 3503–3540.

Sandarani, M. (2017). A Review: Different Extraction Techniques of Pectin. *Journal of Pharmacognosy y Natural Products*, 03(03), 1–5. <https://doi.org/10.4172/2472-0992.1000143>

Sandy, P., Papkoff, J., Sizova, M., Goodman, B., Gardner, H., y Ponichtera, H. (2019). Compositions and Methods of Treating Cancer Using Bifidobacterium Animalis Ssp. Lactis. In *Scientific Reports*. <http://europepmc.org/books/NBK544223>

Santos, E. E., Amaro, R. C., Bustamante, C. C. C., Guerra, M. H. A., Soares, L. C., y Froes, R. E. S. (2020). Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification. *Food Hydrocolloids*, 107(April). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105921>

Sayah, M. Y., Chabir, R., Benyahia, H., Kandri, Y. R., Chahdi, F. O., Touzani, H., y Errachidi, F. (2016). Yield, esterification degree and molecular weight evaluation of pectins isolated from orange and grapefruit peels under different conditions. *PLoS ONE*, 11(9), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161751>

- SCImago, (nd). SJR — SCImago Journal y Country Rank [Portal]. *Fecha de recuperación de*
<http://www.scimagojr.com>
- Segura, E. P., Ilyina, A., Contreras, J. C., Rodriguez, D., Flores, J. C., y Montes, O. E. (2003).
 Entrapment of enzymes in natural polymer extracted from residue of food industry:
 Preparation methods, partial characterisation and possible application. *Vestnik*
Moskovskogo Universiteta Seriya 2 Khimiya, 44(1), 84–87.
- Senit, J. J., Velasco, D., Gomez, A., Sanchez, M., Toledo, J. M., Santos, V. E., Garcia, F., Yustos,
 P., y Ladero, M. (2019). Orange peel waste upstream integrated processing to terpenes,
 phenolics, pectin and monosaccharides: Optimization approaches. *Industrial Crops and*
Products, 134, 370–381. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2019.03.060>
- Serrato M., C. C., y Lesmes C., V. (2016). *Metodología para el cálculo de energía extraída a*
partir de biomasa en el departamento de cundinamarca. 1–79.
- Shahidi, F., y Yeo, J. D. (2018). Bioactivities of Phenolics by Focusing on Suppression of Chronic
 Diseases: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(6).
<https://doi.org/10.3390/IJMS19061573>
- Shakhmatov, E. G., Makarova, E. N., y Belyy, V. A. (2019). Structural studies of biologically
 active pectin-containing polysaccharides of pomegranate *Punica granatum*. *International*
Journal of Biological Macromolecules, 122, 29–36.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.146>
- Sharma, P. C., Gupta, A., y Kaushal, P. (2014). Optimization of method for extraction of pectin
 from apple pomace. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 5(2), 184–189.
- Shivamathi, C. S., Moorthy, I. G., Kumar, R. V, Soosai, M. R., Maran, J. P., Kumar, R. S., y
 Varalakshmi, P. (2019). Optimization of ultrasound assisted extraction of pectin from

- custard apple peel: Potential and new source. *Carbohydrate Polymers*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115240>
- Siddiqui, A., Chand, K., y Shahi, N. C. (2021). Effect of Process Parameters on Extraction of Pectin from Sweet Lime Peels. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*. <https://doi.org/10.1007/s40030-021-00514-3>
- Sila, D. N., Van Buggenhout, S., Duvetter, T., Fraeye, I., De Roeck, A., Van Loey, A., y Hendrickx, M. (2009). Pectins in processed fruits and vegetables: Part II-Structure-function relationships. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 8, 86–104.
- Silva, J., Maranduba, H. L., de Sousa, S., de Almeida, J. A., y Rodrigues, L. B. (2022). Environmental performance of orange citrus waste as raw material for pectin and essential oil production. *Food and Bioproducts Processing*, 135, 165–177. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.07.008>
- Sivam, A. S., Sun, D., Perera, C. O., y Waterhouse, G. I. N. (2013). Application of FT-IR and Raman spectroscopy for the study of biopolymers in breads fortified with fibre and polyphenols. *Food Research International*, 50(2), 574–585. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.03.039>
- Solarte, J. C., Ariel, C., y Alzate, C. (2023). *Sustainability of Biorefineries : Challenges and Perspectives*.
- Soto, E., Dávila, N. E., y Loredó, M. (2022). Agro-wastes as precursors of biochar, a cleaner adsorbent to remove pollutants from aqueous solutions. *Biomass-Derived Materials for Environmental Applications*, 349–376. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91914-2.00001-5>

- Staunstrup, J. A., Klit, C., Trudso, J. E., Pedersen, T. E., y Hiscock, D. F. (2019). *Methods of producing activated pectin-containing biomass compositions* | *The Lens* (Patent No. US 10287366 B2). <https://www.lens.org/lens/patent/004-378-360-971-485/frontpage>
- Staunstrup, J. A., Klit, C., Trudsø, J. E., Pedersen, T. E., y Hiscock, D. F. (2021). *Activated pectin-containing biomass compositions and products*.
- Su, D.-L., Li, P.-J., Quek, S. Y., Huang, Z.-Q., Yuan, Y.-J., Li, G.-Y., y Shan, Y. (2019). Efficient extraction and characterization of pectin from orange peel by a combined surfactant and microwave assisted process. *Food Chemistry*, 286, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.200>
- Swamy, G. J., y Muthukumarappan, K. (2017). Optimization of continuous and intermittent microwave extraction of pectin from banana peels. *Food Chemistry*, 220, 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.197>
- Talekar, S., Patti, A. F., Vijayraghavan, R., y Arora, A. (2018). An integrated green biorefinery approach towards simultaneous recovery of pectin and polyphenols coupled with bioethanol production from waste pomegranate peels. *Bioresource Technology*, 266(June), 322–334. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.072>
- Tamiello, C. S., Cantu, T. M., Iacomini, M., y Cordeiro, L. M. C. (2019). Pectins from cashew apple fruit (*Anacardium occidentale*): Extraction and chemical characterization. *Carbohydrate Research*, 483(July), 107752. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.107752>
- Tan, H., y Nie, S. (2020). Deciphering diet-gut microbiota-host interplay: Investigations of pectin. *Trends in Food Science y Technology*, 106, 171–181. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.10.010>
- Tariq, A., Bhawani, S. A., Moheman, A., y Alotaibi, K. M. (2023). Introduction to agro-industrial

- waste. *Extraction of Natural Products from Agro-Industrial Wastes: A Green and Sustainable Approach*, 1–18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823349-8.00008-3>
- Teresa, M., Villamiel, M., Moreno, R., y Moreno, F. J. (2019). Structural and rheological properties of pectins extracted from industrial sugar beet by-products. *Molecules*, 24(3). <https://doi.org/10.3390/molecules24030392>
- Thakur, B. R., Singh, R. K., y Handa, A. K. (1997). Chemistry and Uses of Pectin - A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37(1), 47–73. <https://doi.org/10.1080/10408399709527767>
- Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., y Prakash, J. (2014). Process optimization and analysis of microwave assisted extraction of pectin from dragon fruit peel. *Carbohydrate Polymers*, 112, 622–626. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.06.044>
- Tovar, A. K., Godínez, L. A., Espejel, F., Ramírez, R. M., y Robles, I. (2019). Optimization of the integral valorization process for orange peel waste using a design of experiments approach: Production of high-quality pectin and activated carbon. *Waste Management*, 85, 202–213. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.12.029>
- Trudsø, J. E., Olsen, H. B., y Andersen, M. (2015). *Dewatering biomass material comprising polysaccharide, method for extracting polysaccharide from biomass material, and dewatered biomass material*.
- Trudsoe, J. E. (2019). *Preservation of biomass material comprising pectin and method for extracting pectin from preserved biomass material*.
- Tudman, S., y Chesonis, A. (2019). *METHODS OF MAKING SPECIALIZED CELLULOSE AND OTHER PRODUCTS FROM BIOMASS*.
- Unión Europea. (2019). *Reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio*

ambiente. <https://www.boe.es/doue/2019/155/L00001-00019.pdf>

United Nations Environment Programme. (2021). Food Waste Index Report 2021. In *United Nations Environment Programme*.

UPME. (2009). Biocombustibles En Colombia. *Unidad De Planeación Minero Energética - UPME*, 1–22.

Vaez, S., Karimi, K., Mirmohamadsadeghi, S., y Jeihanipour, A. (2021). An optimal biorefinery development for pectin and biofuels production from orange wastes without enzyme consumption. *Process Safety and Environmental Protection*, 152, 513–526. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.013>

Valladares, K. K., Porto, L., Zevallos, L. A., Zandoná, A., Lorenci, A., y Ricardo, C. (2022). Citric acid assisted hydrothermal pretreatment for the extraction of pectin and xylooligosaccharides production from cocoa pod husks. *Bioresource Technology*, 343(October 2021). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126074>

Van De Velde, K., y Kiekens, P. (2002). Biopolymers: Overview of several properties and consequences on their applications. *Polymer Testing*, 21(4), 433–442. [https://doi.org/10.1016/S0142-9418\(01\)00107-6](https://doi.org/10.1016/S0142-9418(01)00107-6)

Van Hung, P., Anh, M. N. T., Hoa, P. N., y Phi, N. T. L. (2021). Extraction and characterization of high methoxyl pectin from Citrus maxima peels using different organic acids. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1541–1546. <https://doi.org/10.1007/S11694-020-00748-Y/METRICS>

Van Maris, A. J. A., Pronk, J. T., y Verhoeven, M. D. (2022). *Polypeptides with improved arabinose transport specificity*.

Van Rooyen, B., De Wit, M., Osthoff, G., Van Niekerk, J., y Hugo, A. (2023). Microstructural and

- Mechanical Properties of Calcium-Treated Cactus Pear Mucilage (*Opuntia* spp.), Pectin and Alginate Single-Biopolymer Films. *Polymers*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/polym15214295>
- Vargas, A. (2016). *Estudio Técnico para la Valorización de Residuos Sólidos Vegetales provenientes de la Plaza de Mercado San Francisco de Bucaramanga. (Estudio de caso)*. 1(August), 117–125.
- Vasco, J., y Zapata, A. D. (2017). Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) at laboratory and bench scale. *LWT*, 80, 280–285. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.02.024>
- Vega, L. P., Bautista, K. T., Campos, H., Daza, S., y Vargas, G. (2024). Biofuel production in Latin America: A review for Argentina, Brazil, Mexico, Chile, Costa Rica and Colombia. *Energy Reports*, 11, 28–38. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2023.10.060>
- Vladimirovna, L. A., Dzhavadovich, D. E., Andreevich, L. Y., Georgievich, K. A., Nikolaevna, G. A., Ivanovich, D. V., Yusufovich, S. A., y Vladimirovna, A. M. (2020). *Method for Increasing Resistance of Lactic Bacteria for Probiotic Supplement*. <https://www.lens.org/lens/patent/109-139-358-761-074/frontpage?l=en>
- Wang, S., Xia, P., Wang, S., Liang, J., Sun, Y., Yue, P., y Gao, X. (2019). Packaging films formulated with gelatin and anthocyanins nanocomplexes: Physical properties, antioxidant activity and its application for olive oil protection. *Food Hydrocolloids*, 96, 617–624. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.06.004>
- Wang, W., Ma, X., Xu, Y., Cao, Y., Jiang, Z., Ding, T., Ye, X., y Liu, D. (2015). Ultrasound-assisted heating extraction of pectin from grapefruit peel: Optimization and comparison with the conventional method. *Food Chemistry*, 178, 106–114.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.080>

Wenger, J., y Stern, T. (2021). *Reflection on the research on and implementation of biorefinery systems – a systematic literature review with a focus on feedstock*. 1347–1364.

<https://doi.org/10.1002/bbb.2021>

Wikiera, A., Mika, M., Starzyńska, A., y Stodolak, B. (2016). Endo-xylanase and endo-cellulase-assisted extraction of pectin from apple pomace. *Carbohydrate Polymers*, 142, 199–205.

<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.01.063>

Wongkaew, M., Chaimongkol, P., Leksawasdi, N., Jantanasakulwong, K., Rachtanapun, P., Seesuriyachan, P., Phimolsiripol, Y., Chaiyaso, T., Ruksiriwanich, W., Jantrawut, P., y Sommano, S. R. (2021). Mango peel pectin: Recovery, functionality and sustainable uses.

Polymers, 13(22), 1–16. <https://doi.org/10.3390/polym13223898>

Yadav, A., Kumar, N., Upadhyay, A., Pratibha, y Anurag, R. K. (2023). Edible Packaging from Fruit Processing Waste: A Comprehensive Review. *Food Reviews International*, 39(4),

2075–2106. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1940198>

Yadav, V., Sarker, A., Yadav, A., Miftah, A. O., Bilal, M., y Iqbal, H. M. N. (2022). Integrated biorefinery approach to valorize citrus waste: A sustainable solution for resource recovery and environmental management. *Chemosphere*, 293, 133459.

<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.133459>

Yamakawa, C. K., Qin, F., y Mussatto, S. I. (2018). Advances and opportunities in biomass conversion technologies and biorefineries for the development of a bio-based economy.

Biomass and Bioenergy, 119, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.09.007>

Yang, X., Nisar, T., Hou, Y., Gou, X., Sun, L., y Guo, Y. (2018). Pomegranate peel pectin can be used as an effective emulsifier. *Food Hydrocolloids*, 85, 30–38.

- <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.06.042>
- Yang, Y., Wang, Z., Hu, D., Xiao, K., y Wu, J. Y. (2018). Efficient extraction of pectin from sisal waste by combined enzymatic and ultrasonic process. *Food Hydrocolloids*, 79, 189–196. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2017.11.051>
- Yapo, B. M. (2009). Biochemical characteristics and gelling capacity of pectin from yellow passion fruit rind as affected by acid extractant nature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1572–1578. <https://doi.org/10.1021/jf802969m>
- Zannini, D., Dal Poggetto, G., Malinconico, M., Santagata, G., y Immirzi, B. (2021). Citrus pomace biomass as a source of pectin and lignocellulose fibers: From waste to upgraded biocomposites for mulching applications. *Polymers*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/polym13081280>
- Zegada, V. Y. (2015). Pectin Extraction From Orange Peels Waste By Microwave Assisted Acid. *Centro de Investigaciones de Procesos Industriales (CIPI)*, 1(15), 65–76. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttextpid=S2518-44312015000100007
- Zeng, P., Chen, X., Qin, Y. R., Zhang, Y. H., Wang, X. P., Wang, J. Y., Ning, Z. X., Ruan, Q. J., y Zhang, Y. S. (2019). Preparation and characterization of a novel colorimetric indicator film based on gelatin/polyvinyl alcohol incorporating mulberry anthocyanin extracts for monitoring fish freshness. *Food Research International*, 126, 108604. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2019.108604>
- Zhang, R., Zicari, S., Diener, J., Tischer, J., Manternach, J., Pucheu, W., Moore, J., y Winckler, J. (2015). *METHODS AND SYSTEM FOR LIQUEFACTION, HYDROLYSIS AND FERMENTATION OF AGRICULTURAL FEEDSTOCKS CROSS-REFERENCE*.
- Zhang, Y., Cai, P., Cheng, G., y Zhang, Y. (2022). A Brief Review of Phenolic Compounds

Identified from Plants: Their Extraction, Analysis, and Biological Activity. *Natural Product Communications*, 17(1).

https://doi.org/10.1177/1934578X211069721/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_1934578X211069721-FIG1.JPEG