

**COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS PARA
LA EXTRACCIÓN DE PECTINA Y SU
IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE**

LAURA VALENTINA GONZALEZ NIÑO

JHONY MIGUEL JAIMES CLAROS

LEIDY LORENA PACATEQUE FORERO

DIRECTOR:

ING. JOHN JAIRO PORRAS

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ D.C.

2023

Tabla de Contenido

Tabla de contenido

Listado de Tablas	4
Listado de Figuras	5
Resumen	6
Introducción	7
Objetivos	9
General	9
Específicos	9
1. Definición del Problema	10
2. Justificación	12
3. Marco Teórico	14
3.1. Definición y Propiedades de la Pectina	14
3.2. Usos y Aplicaciones de la Pectina	15
3.3. Relevancia de la Producción de Pectina en Colombia	17
3.4. Biodiversidad en Colombia y su Potencial para la Extracción de Pectina	18
3.5. Fuentes de Pectina en Colombia: Frutas y Hongos	19
3.6. Métodos Tradicionales de Extracción de Pectina	19
3.7. Ventajas de los Métodos Tradicionales	21
3.8. Desventajas de los Métodos Tradicionales	22
3.9. Enfoque Enzimático con el Uso de "Pectinasa"	23
3.10. Funcionamiento de la Pectinasa	23
3.11. Ventajas del Enfoque Enzimático	24
3.12. Aplicaciones en la Industria Alimentaria	24
3.13. Importancia en la Investigación y Desarrollo	25
3.14. Variables	26
4. Análisis de Restricciones	28
4.1. Normativas:	28
4.1.1. Norma General para los Aditivos Alimentarios (NGAA)	28
4.2. Restricciones Ambientales	30
4.3. Restricciones Económicas	32
4.4. Restricciones Legales y de Salud y Seguridad en la Extracción de Pectina	34

5. Análisis de Impacto Ambiental	35
5.1. Implementación de Prácticas de Gestión de Residuos Sostenibles:	35
5.2. Cumplimiento con Regulaciones Locales y Nacionales sobre Manejo de Residuos:	37
5.3. Adopción de Métodos de Extracción Eficientes en Recursos:	39
5.4. Desarrollo de Nuevos Métodos y Tecnologías Sostenibles:	41
5.5. Colaboraciones con Instituciones Académicas y Centros de Investigación:	41
5.6. Análisis de Requerimientos de Cumplimiento Normativo y Regulatorio:	41
6. Metodología y Desarrollo de Solución.	43
6.1. Evaluación de Impactos Ambientales Ocasionados por la Extracción de Pectina Convencional.	43
7. Resultados y Análisis de Resultados	45
7.1. Cantidad de Pectina	46
7.2. Condiciones de Cultivo:	47
7.3. Proceso de Extracción Eficiente:	47
7.4. Procedimiento de Hidrólisis Ácida:	48
7.5. Hongo	51
7.5.1. Condiciones:	51
7.5.2. Procedimiento	52
8. Análisis de Costos	56
8.1. Análisis de Costos de Materia Prima	56
8.2. Análisis Costos Mano de Obra	58
8.3. Análisis Costos Maquinaria (utilización equipos)	60
Conclusiones	62
Referencias	64

Listado de Tablas

Tabla 1	15
Tabla 2	16
Tabla 3	28
Tabla 4	30
Tabla 5	35
Tabla 6	43
Tabla 7	46
Tabla 8	50
Tabla 9	54
Tabla 10	55
Tabla 11	56
Tabla 12	57
Tabla 13	58
Tabla 14	60

Listado de Figuras

Figura 1	11
Figura 2	21
Figura 3	27
Figura 4	40
Figura 5	44
Figura 6	47
Figura 7	48
Figura 8	49
Figura 9	50
Figura 10	57
Figura 11	59
Figura 12	61

Resumen

La pectina es un componente esencial en la industria alimentaria y se encuentra en diversas fuentes naturales, incluyendo frutas y plantas. Su extracción es muy importante por sus propiedades gelificantes y espesantes en la fabricación de alimentos procesados. En el caso de las frutas se requiere un proceso de extracción diseñado a partir de la descomposición de las paredes celulares de estos organismos para liberar la pectina contenida en ellas.

La extracción de pectina empleando hongos y frutas no solo tiene aplicaciones en la industria alimentaria, sino que también encuentra utilidad en la producción de productos farmacéuticos y cosméticos. Sin embargo, la optimización de los métodos de extracción y el desarrollo de procesos sostenibles son áreas clave de investigación para aprovechar al máximo este recurso natural y promover la sostenibilidad en la industria.

La investigación se centra en la extracción de pectina con el hongo *Aspergillus Niger* y la cascara del limón, se analizan los métodos maceración, cocción directa (hidrólisis ácida) y materiales para obtener pectina, a partir de aspectos como la efectividad del método, su impacto ambiental, los costos involucrados y la calidad del producto final. En el proceso de investigación se consulta documentación existente respecto al obtención de pectina el diseño y viabilidad, así como el análisis del rendimiento de los procedimientos utilizados en este proceso.

Introducción

La pectina, es un compuesto natural contenido en diversas frutas y vegetales, se ha estudiado y aplicado en la industria alimentaria durante décadas. Sus propiedades gelificantes y espesantes la convierten en un ingrediente indispensable en la elaboración de mermeladas, jaleas, helados y otros productos. Sin embargo, su extracción no es un proceso sencillo y requiere de métodos específicos para obtenerla en su forma más pura y viable.

Colombia, un país conocido por su abundancia en frutas tropicales, ha despertado un gran interés en la extracción de pectina, tanto en la comunidad científica como en la industria. Informes de Expertos publicó un informe en el año 2023 sobre el Mercado Latinoamericano de Pectina. Este informe proporciona información detallada sobre las tendencias, el crecimiento y las oportunidades en el mercado de la pectina en América Latina. Determinando que la producción de pectina en Colombia ha experimentado un aumento constante, con un promedio anual de alrededor de 600 toneladas métricas durante este período. Este crecimiento se traduce en ingresos significativos para los productores locales y demuestra el potencial en expansión de esta industria. A pesar de este aumento en la producción, la demanda aún no se satisface completamente, lo que lleva a la importación de pectina desde países como China, Estados Unidos y Brasil. Sin embargo, existe un recurso subutilizado en forma de residuos de frutas y verduras que podrían ser aprovechados como materia prima para la producción de pectina industrial.

El proceso de extracción de pectina es intrincado y consta de múltiples fases, desde la selección de la materia prima hasta la obtención del producto final. En este contexto, se llevará a cabo un análisis de la complejidad técnica inherente a cada método de extracción, así como de su

impacto en la calidad y pureza de la pectina obtenida. Se recopilarán datos de la industria alimentaria y de empresas especializadas en la extracción y comercialización de pectina en el país. Esto permitirá una visión holística y objetiva de la situación actual y facilitará la comparación y evaluación de los métodos de extracción en cuanto a eficiencia, rentabilidad e impacto ambiental.

Objetivos

General

Analizar los métodos de extracción de pectina junto con el impacto que éstos puedan generar en el medio ambiente.

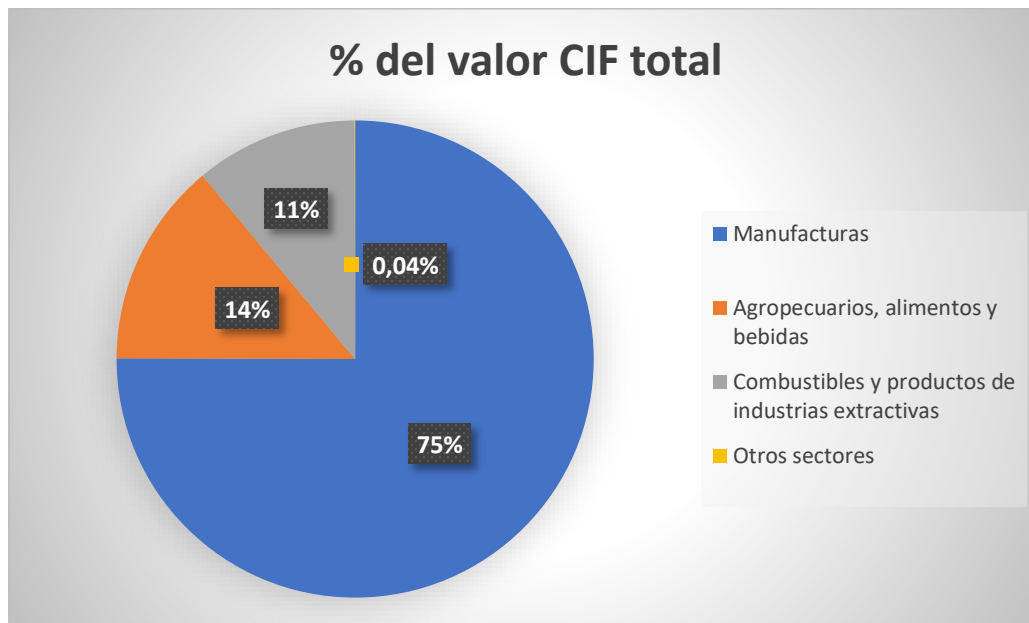
Específicos

- Analizar los diferentes métodos para la extracción de la pectina determinando las ventajas y desventajas de cada proceso.
- Determinar cuál de los procesos utilizados actualmente en la extracción de pectina representan mayor impacto al medio ambiente.
- Desarrollar experimentos en el laboratorio empleando el procedimiento enzimático para la obtención de pectina con el hongo *Aspergillus Niger* que permitan su verificación y obtención de resultados.
- Evaluar los parámetros y atributos de calidad del producto de acuerdo con criterios establecidos y estándares predefinidos.
- Realizar pruebas de laboratorio utilizando el procedimiento de maceración y cocción directa en la cáscara de limón con el objetivo de obtener pectina, basándose en la recopilación y análisis de datos resultantes.

1. Definición del Problema

Colombia al encontrarse en el trópico del continente americano es un país que goza de una ubicación geográfica privilegiada ya que cuenta únicamente con dos estaciones, haciendo de este país un lugar tropical por su proximidad a la línea del ecuador. Además, la existencia de diferentes pisos térmicos a lo largo de su territorio le permite albergar gran biodiversidad, como es mencionado en la publicación Biodiversidad en tu mesa, realizado por el instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt (2015) “El número de plantas nativas comestibles no es sorprendente si tenemos en cuenta que en Colombia se encuentra el 10 % de la biodiversidad del planeta”, en donde además se mencionaba que el país cuenta con alrededor de 400 especies de plantas, frutos o semillas comestibles.

Con base en lo anterior, el territorio colombiano posee un gran potencial para el desarrollo de diversas materias primas. Sin embargo, a pesar de su riqueza natural es dependiente de diferentes países con respecto a diversos temas, entre ellos la importación de varios productos que los colombianos tienen gran facilidad de fabricar. Ya que según el informe de importaciones publicado por el DANE en junio de 2023 las importaciones solicitadas por la industria manufacturera alcanzan el 75% del valor costo, seguro y flete, en donde un claro ejemplo de estas importaciones es el caso de la pectina un insumo ampliamente empleado en la industria alimentaria para la fabricación de diversos productos.

Figura 1*Importaciones a Colombia en 2023*

Nota. El gráfico representa las importaciones realizadas a Colombia en el año 2023. Adaptado de *Informe de importaciones*, por El Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2023, <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/IMP/bol-IMP-jun2023.pdf>

Este aditivo mencionado es un heteropolisacárido que se encuentra en gran proporción en la pared celular de distintas plantas, frutas y hortalizas, brindando la capacidad de formar geles, al someterse a determinados grupos de biomoléculas. Dicho esto, Colombia cuenta con una gran ventaja para la extracción de este compuesto debido a su riqueza natural, sin embargo, como lo menciona (Higuera Mora, 2017) “La mayor cantidad de pectina utilizada en las fábricas de alimentos en Colombia son importadas de países como Brasil, México, Argentina, Ecuador,

Costa Rica, Bolivia y Chile, los cuales obtienen la pectina de diferentes fuentes en frutas y hortalizas”.

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, ya que considera variables físicas, químicas y económicas que requieren sustentarse con datos numéricos y estadísticos que permitan contrastar la información obtenida por los métodos de extracción implementados y evaluar así los procedimientos utilizados para obtener pectina, mientras se analiza el impacto medioambiental que generan.

El enfoque de investigación seleccionado se fundamenta en un análisis comparativo entre el método enzimático y de hidrólisis ácida para la extracción de pectina, teniendo en cuenta los impactos ambientales, económicos y técnicos que desencadenan su producción. Durante el proceso, se harán pruebas experimentales para evaluar la eficacia de estos métodos y se recopilarán datos significativos para sustentar las conclusiones alcanzadas en la investigación. Con base en este proyecto se pretende responder a la pregunta de investigación ¿A partir de la comparación entre los métodos de extracción de hidrólisis ácida y los métodos enzimáticos se puede determinar el impacto ambiental que generan?

2. Justificación

La fabricación potencial de pectina en Colombia podría ofrecer ventajas económicas, así como beneficios en términos de sostenibilidad y desarrollo industrial. El país cuenta con una amplia variedad de frutas tropicales ricas en pectina, como la piña, el maracuyá, el lulo y la naranja, entre otras. La exploración de una posible industria de producción de pectina local podría abrir la puerta a la utilización de este recurso autóctono, potencialmente reduciendo la dependencia de las importaciones de pectina y sus derivados. La realización de este proyecto de investigación se

enfoca en un análisis ambiental integral de los métodos de extracción de pectina, un heteropolisacárido fundamental en la industria alimentaria. Colombia, con su abundante biodiversidad y recursos naturales, ofrece una oportunidad estratégica para explorar la obtención local de este componente esencial. Según datos recopilados del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) de Colombia, aproximadamente el 75% de las materias primas requeridas por la industria manufacturera, incluida la pectina, son importadas desde otros países (DANE, 2019). Esto plantea cuestionamientos sobre la sostenibilidad ambiental debido a la contribución significativa de la extracción y transporte de estos insumos a la huella ecológica. Esta situación plantea cuestionamientos sobre la sostenibilidad ambiental, considerando que la extracción y transporte de estos insumos contribuyen significativamente a la huella ecológica.

La pectina, siendo un componente esencial en la industria alimentaria, se importa mayormente a pesar de las fuentes potenciales disponibles en Colombia. Este escenario subraya las preocupaciones sobre la sostenibilidad ambiental, dado que la extracción y el transporte de estos insumos contribuyen significativamente a la huella ecológica. La justificación del enfoque cuantitativo se basa en la necesidad de abordar variables físicas, químicas y económicas. La recopilación de datos numéricos y estadísticos respaldará de manera sólida las conclusiones derivadas de los métodos de extracción analizados y permitirá evaluar el impacto ambiental resultante.

Además, al utilizar frutas que a menudo generan residuos no aprovechados, la fabricación de pectina contribuiría a reducir el desperdicio de alimentos y a utilizar de manera eficiente los recursos naturales disponibles. Esto, a su vez, se alinea con los objetivos de sostenibilidad y responsabilidad ambiental. La implementación de una industria dedicada a la fabricación de pectina en Colombia fortalecería la seguridad alimentaria, estimularía la economía y fomentaría

la innovación en el sector agroindustrial del país. En última instancia, este proyecto busca establecer una base sólida para un desarrollo industrial sostenible y eficiente en Colombia, aprovechando sus recursos naturales y promoviendo la autosuficiencia en la producción de pectina y sus derivados. En términos de salud y nutrición, la producción local de pectina podría contribuir a la oferta de alimentos más saludables en el mercado nacional, fomentando una dieta equilibrada y mejorando la salud pública. También se espera que impulse la investigación científica relacionada con técnicas de extracción mejoradas, el estudio de nuevas fuentes de pectina y el desarrollo de aplicaciones innovadoras en alimentos

3. Marco Teórico

3.1. Definición y Propiedades de la Pectina

La pectina es un polisacárido natural que se encuentra en las células de las plantas, especialmente en las paredes celulares de frutas y hortalizas. Se caracteriza por su estructura compleja, que consiste principalmente en cadenas de ácido galacturónico unidas por enlaces α -1,4-glucosídicos. Posee gran afinidad por el agua al ser hidrofílica, y puede formar geles con azúcares y ácidos. Esta propiedad hace que la pectina sea valiosa en la industria alimentaria y farmacéutica, donde se utiliza como agente gelificante, espesante y estabilizador en una amplia variedad de productos.

3.2. Usos y Aplicaciones de la Pectina

La pectina tiene una amplia gama de aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica debido a sus propiedades funcionales. Algunos de sus usos más comunes están en la Tabla 1.

Tabla 1

Aplicabilidad de la pectina en la industria

Productos	Usos
Mermeladas y Jaleas	La pectina se utiliza para darle a las mermeladas y jaleas su característica textura gelatinosa y mejorar su consistencia.
Productos Lácteos	En productos como yogures y leches fermentadas, la pectina actúa como estabilizador, evitando la separación de sólidos y líquidos.
Productos Farmacéuticos	La pectina se utiliza en la formulación de cápsulas y tabletas farmacéuticas para controlar la liberación de medicamentos de manera sostenida.
Industria de Bebidas.	Se emplea en bebidas como jugos y néctares para mejorar la viscosidad y textura.

Productos	Usos
Alimentos Dietéticos y Bajos en Azúcar	La pectina es esencial en la producción de productos dietéticos y bajos en azúcar, ya que permite obtener texturas adecuadas sin la necesidad de grandes cantidades de azúcar.

Las diversas aplicaciones de la pectina en el mercado generan la necesidad de disponer de varios tipos de pectina comercial, cada uno adaptado a su uso específico. Según su clasificación, algunos de los usos de la pectina incluyen:

Tabla 2

Usos de pectina según su clasificación

Tipo	Uso
Pectina de Acción Rápida	Históricamente, esta variante se emplea principalmente en la producción de mermeladas y confituras
Pectina de Acción Lenta	Este tipo de pectina se utiliza en la elaboración de jaleas y algunas mermeladas y conservas, especialmente en aquellas preparadas a bajas temperaturas. Además, desempeña un papel importante en productos con alto contenido de azúcar, como los relacionados con la panadería, galletas dulces y golosinas.

Tipo	Uso
Pectina Estabilizante	Se emplea como estabilizante en productos proteicos ácidos, como yogures, sueros y bebidas de soya.
Pectina Éster Metílico de Baja (LM) y Pectinas Amidadas	Estas variedades se utilizan en una amplia gama de productos bajos en azúcar, como conservas, preparaciones de frutas para yogures, postres y coberturas, así como en la elaboración de alimentos salados, como salsas. También son adecuadas para productos con bajo contenido de acidez y alto contenido de azúcar, como conservas que contienen ácido frutos (como higos y plátanos) y productos de confitería.

Nota. La tabla representa los distintos usos que tiene la pectina en los sectores industriales

3.3. Relevancia de la Producción de Pectina en Colombia

Colombia, gracias a su ubicación geográfica privilegiada y su diversidad de climas, alberga una gran biodiversidad de frutas y hongos tropicales que son ricos en pectina. Esta riqueza natural le brinda al país un enorme potencial para la producción local de pectina. La relevancia de la producción de pectina en Colombia radica en varios aspectos:

- **Económico.** La producción local de pectina podría generar oportunidades económicas significativas al diversificar la industria agrícola y reducir la dependencia de las importaciones de pectina y sus derivados.
- **Sostenibilidad.** Al aprovechar recursos naturales locales y reducir el desperdicio de alimentos al utilizar subproductos de la industria alimentaria, la producción de pectina puede contribuir a prácticas más sostenibles y a la reducción de la huella ambiental.
- **Innovación.** La producción de pectina en Colombia fomentaría la innovación en la industria alimentaria y farmacéutica, impulsando el desarrollo de nuevos productos y tecnologías.

3.4. Biodiversidad en Colombia y su Potencial para la Extracción de Pectina

Colombia es un país conocido por su asombrosa biodiversidad debido a su ubicación geográfica privilegiada, que incluye regiones montañosas, selvas tropicales, costas marinas y llanuras. Esta diversidad de climas y ecosistemas ha dado lugar a una rica variedad de flora y fauna del país. Colombia alberga una parte significativa de la biodiversidad mundial, aproximadamente el 10 % de las especies conocidas en el planeta, aunque cubre solo el 0,8 % de la superficie terrestre del mundo.

Esta abundante biodiversidad es relevante para producir pectina. La pectina se encuentra en las paredes celulares de varias plantas, frutas y hortalizas. En Colombia, la diversidad de climas y ecosistemas ha permitido que una amplia gama de frutas tropicales y hongos contengan niveles significativos de pectina en sus estructuras celulares.

3.5. Fuentes de Pectina en Colombia: Frutas y Hongos

- **Frutas Tropicales.** Colombia alberga una gran variedad de frutas tropicales ricas en pectina. Ejemplos incluyen la piña, el maracuyá, el lulo, la guayaba, la naranja, el mango y la papaya, entre otras. Estas frutas se aprecian por su sabor y valor nutricional, y contienen cantidades significativas de pectina en sus cáscaras y pulpas.
- **Hongos.** En cuanto a los hongos, a diferencia de las plantas, que poseen paredes celulares con contenido de pectina, los hongos tienen paredes celulares formadas principalmente por quitina, el cual es su componente esencial en su estructura, ya que en muchos de ellos la quitina reemplaza la celulosa, siendo este el polímero que le proporciona estabilidad a su pared celular y compensa la presión por turgencia (Merzendorfer, 2011)

La disponibilidad de estas fuentes naturales de pectina en Colombia representa una ventaja significativa para la producción local. Al aprovechar la abundante biodiversidad y recursos naturales del país, Colombia tiene el potencial de desarrollar una industria de producción de pectina sólida y sostenible que pueda satisfacer tanto las demandas nacionales como las internacionales. La exploración de estas fuentes naturales es esencial para comprender completamente el potencial de Colombia en la producción de pectina.

3.6. Métodos Tradicionales de Extracción de Pectina

Los métodos tradicionales de extracción de pectina son técnicas arraigadas en la industria alimentaria y se han utilizado durante mucho tiempo para obtener pectina de diversas fuentes vegetales. Aquí se detalla cada uno de estos métodos:

- **Maceración.** Este proceso comienza con la trituración o molienda de la fruta fresca o pulpa de fruta. Luego, se procede a calentar la mezcla obtenida, generalmente con la adición de agua caliente y ácido (como ácido cítrico). La maceración tiene como objetivo romper las células vegetales y liberar la pectina de la matriz de la fruta. A medida que se calienta la mezcla, la pectina se disuelve en el agua y el ácido ayuda a que se separe de otras sustancias presentes en la fruta. Luego, se filtra la mezcla para separar la pectina disuelta de los restos sólidos y otros componentes no deseados.
- **Cocción Directa.** En este método, se expone la fruta o pulpa de fruta a altas temperaturas mediante la cocción directa. El calor rompe las células vegetales y libera la pectina. Al igual que en la maceración, el proceso suele involucrar la adición de agua y ácido para facilitar la extracción de pectina. Posteriormente, la mezcla se somete a un proceso de filtración o decantación para separar la pectina de los sólidos no deseados.

Figura 2

Proceso de extracción de pectina



Nota. Mediante la imagen se ilustra el proceso de extracción de pectina mediante métodos tradicionales. Tomado de *Extracción de pectina* [Imagen], por N.A. Hernández, 2019, <https://es.scribd.com/document/539941757/extraccion-d-epectinas>

3.7. Ventajas de los Métodos Tradicionales

- **Simplicidad.** Estos métodos son relativamente simples y no requieren equipos especializados o costosos.
- **Costos más bajos.** los métodos tradicionales suelen ser más económicos en inversión inicial y consumo de energía.

3.8. Desventajas de los Métodos Tradicionales

- **Calidad de la pectina:** La pectina obtenida a través de métodos tradicionales puede ser de calidad variable y puede contener impurezas. Esto puede limitar su uso en aplicaciones donde se requiere una pectina de alta calidad, como en la fabricación de productos farmacéuticos. Para respaldar esta afirmación, podemos citar el estudio realizado por García-Moreno, et al. (2017), quienes llevaron a cabo un análisis comparativo de la calidad de la pectina obtenida mediante métodos tradicionales y métodos modernos de extracción. Encontraron que la pectina obtenida por métodos tradicionales tenía una mayor variabilidad en sus propiedades físicas y químicas, lo que afectaba su calidad.
- **Generación de residuos:** Estos métodos suelen generar una cantidad significativa de residuos sólidos, ya que parte de la fruta no se disuelve y debe descartarse o usarse en otros procesos, lo que puede plantear desafíos ambientales y de gestión de residuos. Basado en un estudio realizado por Rodríguez, et al. (2018), quienes investigaron los residuos generados en la producción de pectina mediante métodos tradicionales. Encontraron que estos métodos producían residuos sólidos, ya que una parte de la fruta no se disolvía completamente durante la extracción de la pectina. Esto plantea desafíos tanto ambientales, debido a la generación de residuos, como de gestión de residuos, ya que se requiere una disposición adecuada de estos residuos. Además, en un informe publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) titulado "Gestión sostenible de residuos de alimentos y agricultura", se menciona que los métodos tradicionales de extracción de pectina pueden generar una cantidad significativa de

residuos sólidos, lo que plantea desafíos en términos de sostenibilidad ambiental y gestión de residuos.

3.9. Enfoque Enzimático con el Uso de "Pectinasa"

El enfoque enzimático para la extracción de pectina representa un avance significativo en la obtención de pectina de alta calidad y pureza. Aquí se amplía la información sobre este método:

3.10. Funcionamiento de la Pectinasa

La "Pectinasa" es una enzima que pertenece a la familia de las hidrolasas y es la protagonista clave en este método. Su función principal es la de romper las cadenas de pectina presentes en la fruta de manera específica y eficiente. La "Pectinasa" actúa hidrolizando los enlaces químicos de la pectina, descomponiéndola en sus componentes más simples, como ácido galacturónico y oligómeros de pectina. Esto hace que la extracción de la pectina sea mucho más precisa y controlada en comparación con los métodos tradicionales.

Para brindar un poco más de contexto, es importante mencionar la investigación realizada por López, et al. (2021), quienes estudiaron el uso de la enzima "Pectinasa" en la extracción de pectina. Encontraron que esta enzima permitía una mayor eficiencia en la descomposición de la pectina, lo que resultaba en una extracción más completa y de mayor calidad que los métodos tradicionales. Además, destacaron que la "Pectinasa" permitía un mayor control sobre el proceso de extracción, lo que facilitaba la obtención de una pectina con propiedades más consistentes y predecibles. Esto demuestra que la "Pectinasa" desempeña un papel fundamental en la extracción de pectina, ya que permite una descomposición más precisa y controlada de la pectina presente en

la fruta. Su uso en este método proporciona una mayor eficiencia y calidad en comparación con los métodos tradicionales.

3.11. Ventajas del Enfoque Enzimático

- **Mayor Calidad de la Pectina.** El uso de enzimas como la "Pectinasa" permite obtener pectina de mayor calidad y pureza. Esto es especialmente importante en industrias donde se requiere una pectina con propiedades específicas, como la industria farmacéutica, donde se deben cumplir estrictos estándares de calidad.
- **Mayor Rendimiento.** La acción específica de las enzimas puede aumentar el rendimiento de la extracción, es decir, se puede obtener más pectina a partir de la misma cantidad de materia prima que los métodos tradicionales.
- **Menos Residuos.** El enfoque enzimático tiende a generar menos residuos sólidos en comparación con la maceración y la cocción directa. Esto puede ser beneficioso desde una perspectiva ambiental y de gestión de residuos.
- **Menor Requisito de Energía.** El proceso enzimático generalmente requiere menos energía, ya que no implica calentamiento a altas temperaturas, lo que puede resultar en ahorros energéticos y una menor huella de carbono.

3.12. Aplicaciones en la Industria Alimentaria

Este enfoque se aplica mucho en la industria alimentaria para fabricar mermeladas, jaleas y productos lácteos. Su utilización se justifica por la necesidad de lograr una textura específica y una liberación controlada de pectina, factores esenciales para alcanzar la consistencia deseada en los productos finales.

Para respaldar esta afirmación, podemos mencionar un estudio de González y sus colegas en 2018, donde se investigó el uso de pectina en la producción de mermeladas. El estudio reveló que el empleo de pectina con métodos enzimáticos permitía mayor precisión en el control de la textura y consistencia de las mermeladas. Además, destacaron que este método garantizaba una liberación controlada de pectina durante el proceso de cocción, lo que se traducía en una notable mejora en la calidad y estabilidad de los productos finales.

Además, en el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) sobre la producción de productos lácteos se señala que la incorporación de pectina en la fabricación de productos lácteos como yogures y postres contribuye a obtener una textura suave y cremosa, así como una mayor estabilidad y consistencia.

3.13. Importancia en la Investigación y Desarrollo

El enfoque enzimático también es fundamental en la investigación y desarrollo de nuevos productos y tecnologías en la industria alimentaria y farmacéutica. Permite la modificación controlada de las propiedades de la pectina, lo que abre oportunidades para la innovación y la creación de productos personalizados.

En resumen, el enfoque enzimático con el uso de "Pectinasa" representa una técnica avanzada y precisa para la extracción de pectina, que ofrece beneficios significativos en términos de calidad del producto, rendimiento y sostenibilidad. Su adopción ha contribuido a mejorar la eficiencia y la calidad en diversas aplicaciones industriales.

3.14. Variables

Con base al enfoque de investigación planteado las variables que se deben tener en cuenta para el desarrollo de la investigación son:

a. Pureza:

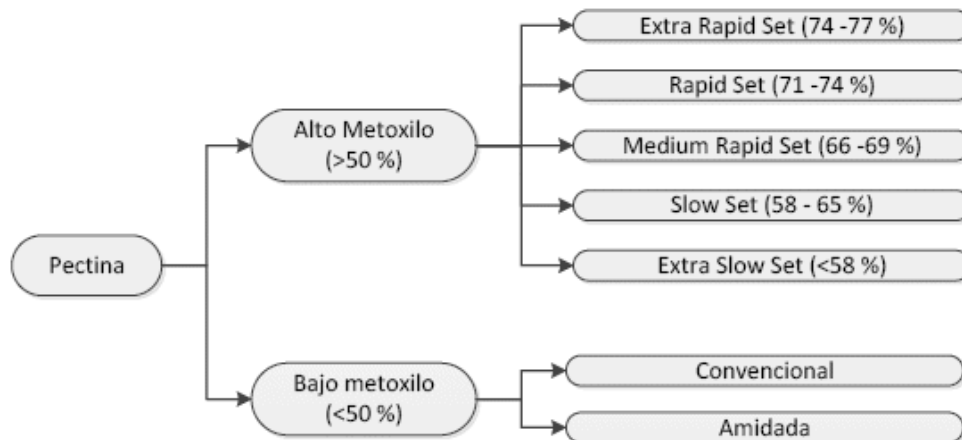
La estructura molecular de la pectina se compone esencialmente a partir del ácido galacturónico, según la international pectin producers association (2021) “al menos el 65% de su masa, es el ácido galacturónico, un ácido de azúcar natural. En la pared celular de la planta, la mayoría de las unidades de ácido galacturónico están esterificadas y presentes como éster metílico” y aunque posee otras moléculas de azúcares neutros como los son la ramnosa, la arabinosa, la galactosa, que le proporcionan a la estructura las conocidas “regiones peludas”, estas son erradicadas al extraerse la pectina de la planta conservándose esencialmente la estructura lisa del ácido galacturónico. Por tanto, esta es la molécula que determina la pureza de este insumo que se ve representada a través del cociente entre la masa total de anillos del ácido sobre la masa total de la pectina.

b. Grado de esterificación

Este es un factor trascendental para la utilización de la pectina, ya que el grado de esterificación define la velocidad de gelificación, como lo muestra la Figura 3 que clasifica el grado de esterificación con respecto su porcentaje de metoxilo:

Figura 3

Clasificación del grado de esterificación



Nota. El diagrama permite clasificar el grado de esterificación en relación con la presencia del grupo metoxilo. Tomado de “*Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)*”, por V. Zegada Franco, 2015, *SciELO*.

Como se observa en la figura, la esterificación se ve regida por el grado de metoxilo de la molécula, el cual hace referencia a la cantidad de grupos metilo (CH₃) que la estructura molecular posee. Puesto que este radical tiene un impacto significativo en la capacidad de la pectina para gelificar y espesar. Las pectinas con un alto grado de metoxilo (superior al 50%) tienden a gelificar en entornos ácidos y con elevadas concentraciones de azúcar, como se usa para fabricar mermeladas y jaleas. Por otro lado, las pectinas con un bajo grado de metoxilo (inferior al 50%) requieren la adición de iones de calcio u otros cationes para formar geles y se utilizan en productos como productos lácteos y bebidas.

4. Análisis de Restricciones

4.1. Normativas:

Para la fabricación de productos en todos los países está sujeta a normativas que buscan que se den de forma óptima en los procesos de producción e idónea para consumirlos sus clientes. En este caso en particular al tratarse de un aditivo, la industria alimentaria posee varias regulaciones que buscan garantizar que el producto sea seguro para el consumo humano, que tenga una calidad adecuada, un correcto etiquetado con especificaciones tales como ingredientes, fechas de caducidad, trazabilidad y aprobación de las entidades reguladoras, entre las cuales se encuentran

4.1.1. Norma General para los Aditivos Alimentarios (NGAA)

Es establecida por la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), como la única referencia para los aditivos alimentarios, a través de su código alimentario conocido como CODEX, establece que la pectina se tiene que alinear a las siguientes especificaciones:

- **Pureza:**

Tabla 3

Criterios de pureza para la fabricación de Pectina

Parámetro	Especificación
Pérdida por desecación	No más del 12%

Dióxido de azufre	No más de 50 mg/kg
Disolventes residuales	No más del 1% de metanol, etanol e isopropanol, individualmente o en combinación
Cenizas insolubles en ácido	No más del 1%
Insolubles totales	No más del 3%
Contenido de nitrógeno	No más del 2,5% posterior al lavado realizado con ácido y etanol
Ácido galacturónico	No menos del 65% sobre base seca y libre de ceniza
Grado de amidación	No más del 25% con respecto al total de grupos carboxilos de la pectina
Plomo	No más de 2mg/kg

Nota. En la tabla se diagraman los estándares de pureza que debe tener la pectina. Elaboración propia. Adaptada de la información extraída de “*Residue Monograph prepared by the meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee (JECFA)*”, por Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016, World Health Organization

- **Equipos especializados para la extracción de pectina**

Los equipos y maquinaria especializados son una restricción importante para la producción de pectina en Colombia. Los equipos pueden ser costosos y difíciles de adquirir, una barrera de entrada para las empresas que desean incursionar en esta actividad, pero si los logran conseguir

deben invertir en capacitaciones de personal, mantenimientos de las maquinarias puede llegar a una restricción para las empresas que no están dispuestas a invertir.

- **Competencia**

La competencia de estas empresas puede generar una restricción ya que estas empresas productoras importan la pectina tienen sus clientes fijos y una producción eficiente, por ende, es más complicado que una empresa de producción de pectina tenga éxito.

Ambiental: La extracción de pectina es una actividad industrial que, como cualquier otro proceso productivo, está sujeta a restricciones ambientales que deben ser cuidadosamente consideradas. Estas restricciones se derivan de la necesidad de proteger el medio ambiente y garantizar la sostenibilidad de la producción de pectina. A continuación, se presenta un análisis detallado de las restricciones ambientales en este contexto:

4.2. Restricciones Ambientales

Tabla 4

Análisis de restricciones ambientales

Restricción Ambiental	Descripción
Uso de Recursos Naturales	El proceso de extracción de pectina requiere grandes cantidades de agua y energía, lo que puede ser problemático en áreas con escasez de

agua o con limitado acceso a este recurso.

Además, el consumo de energía puede afectar la huella de carbono de la industria.

Residuos y Subproductos

La extracción de pectina puede generar subproductos no deseados y residuos que deben ser gestionados adecuadamente, como la eliminación de pulpa y restos de frutas, lo cual puede plantear desafíos ambientales si no se maneja de forma sostenible.

Impacto en la Calidad del Agua

El uso de productos químicos en la extracción debe manejarse responsablemente para evitar la contaminación del agua y del suelo. Las descargas de aguas residuales industriales deben cumplir con regulaciones ambientales.

Uso de Productos Químicos

La utilización de productos químicos en los métodos de extracción puede ser una restricción importante. La gestión adecuada es esencial para minimizar los impactos ambientales, ya que los derrames o liberaciones accidentales pueden tener graves consecuencias.

Biodiversidad y Agricultura Sostenible

La extracción de pectina a partir de frutas tropicales puede influir en la biodiversidad y la

sostenibilidad agrícola. La sobreexplotación de ciertas frutas y la conversión de tierras agrícolas en monocultivos pueden tener impactos negativos en la biodiversidad y sostenibilidad.

Cumplimiento Normativo y Regulatorio

El cumplimiento de las regulaciones y normativas ambientales es esencial. Las empresas deben conocer y seguir las leyes locales y nacionales relacionadas con la gestión ambiental para evitar sanciones y proteger su reputación.

Nota. La tabla relaciona y desarrolla las restricciones ambientales que posee la extracción de pectina.

4.3. Restricciones Económicas

- **Costos de Operación:** Los costos operativos continuos, como los relacionados con la adquisición de materias primas, energía, productos químicos y mano de obra, son una restricción económica importante. Los métodos de extracción varían en eficiencia y consumo de recursos, lo que afecta directamente a los costos operativos.
- **Precios de Materias Primas:** La variabilidad en los precios de las frutas cítricas como el limón y el hongo *Aspergillus Niger* que favorece la extracción de la pectina, que son la materia prima principal, puede ser una restricción. Los precios fluctuantes de las frutas y

el hongo pueden afectar la rentabilidad de la extracción de pectina y la capacidad de las empresas para mantener márgenes de beneficio aceptables.

- **Competencia Internacional:** La competencia de productores extranjeros puede ser una restricción económica. Los productores de otros países pueden ofrecer pectina a precios más bajos debido a diferencias en los costos laborales, la regulación ambiental o la disponibilidad de materias primas. Esto puede ejercer presión sobre los productores locales y limitar su capacidad para competir en el mercado internacional.
- **Fluctuaciones de la Demanda:** Las fluctuaciones en la demanda de pectina pueden ser una restricción económica. La demanda puede verse afectada por factores como las tendencias en la industria alimentaria y farmacéutica, la percepción de los consumidores sobre productos naturales y saludables, y las condiciones económicas globales. Estas fluctuaciones pueden influir en la estabilidad de los ingresos y la rentabilidad de la industria de la pectina.
- **Acceso a Financiamiento:** El acceso a financiamiento, ya sea a través de préstamos bancarios, inversionistas o subvenciones, es una restricción económica clave. Las empresas de extracción de pectina pueden enfrentar dificultades para obtener capital inicial o financiamiento adicional para la expansión y mejora de sus operaciones.
- **Precios Volátiles en el Mercado:** Los precios de la pectina en el mercado internacional pueden ser volátiles debido a la oferta y la demanda, así como a factores climáticos que afectan la producción de frutas. Esta volatilidad puede dificultar la planificación financiera a largo plazo y la estabilidad económica de la industria.

4.4. Restricciones Legales y de Salud y Seguridad en la Extracción de Pectina

- **Cumplimiento Normativo y Regulaciones de Alimentos:** La extracción de pectina a partir de fruta cítrica, como el limón, está sujeta a regulaciones estrictas de seguridad alimentaria. Las empresas deben cumplir con las normativas sobre la manipulación y procesamiento de alimentos para garantizar la seguridad del producto final. Esto incluye el monitoreo de contaminantes potenciales y la prevención de riesgos microbiológicos.
- **Control de Calidad y Rastreabilidad:** Para cumplir con las regulaciones, las empresas deben implementar sistemas de control de calidad rigurosos y establecer una rastreabilidad adecuada de las frutas utilizadas en la extracción. Esto permite identificar y responder rápidamente a problemas de seguridad alimentaria y mantener un registro completo de la cadena de suministro.
- **Residuos y Gestión Ambiental:** La disposición adecuada de los residuos de la extracción de pectina a partir de limones es una preocupación importante desde el punto de vista legal y ambiental. Las empresas deben cumplir con las regulaciones ambientales para el manejo y la eliminación segura de residuos químicos y orgánicos, incluyendo pulpa y cáscaras de limón. Además, deben considerar prácticas de gestión de residuos sostenibles para minimizar su impacto ambiental.
- **Cumplimiento Normativo en la Biotecnología:** La extracción de pectina a partir de hongos utilizando métodos enzimáticos implica aspectos de biotecnología. Las empresas deben cumplir con las regulaciones específicas relacionadas con la modificación genética y la manipulación de organismos en el proceso de extracción. Esto incluye el cumplimiento de regulaciones sobre seguridad biológica y ética en la investigación y desarrollo.

- **Salud y Seguridad en el Laboratorio:** Los laboratorios y las instalaciones de investigación utilizados en la extracción de pectina de hongos deben cumplir con normativas estrictas de salud y seguridad. Esto incluye el uso adecuado de equipo de protección personal, la gestión segura de productos químicos y enzimas, y la prevención de riesgos biológicos asociados con hongos.

5. Análisis de Impacto Ambiental

La gestión de residuos en la extracción de pectina es un componente crítico para garantizar la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental en esta industria. A continuación, se profundiza en estos requerimientos:

5.1. Implementación de Prácticas de Gestión de Residuos Sostenibles:

Las prácticas sostenibles de gestión de residuos van más allá de la simple eliminación de desechos. Incluyen:

Tabla 5

Gestión de residuos para la producción de pectina

Restricción	Descripción
Minimización de Residuos en la Fuente	Una restricción clave es reducir la generación de residuos desde el inicio. Implica la necesidad de optimizar los procesos para maximizar la utilización de materias primas y

minimizar al máximo la cantidad de material no deseado. Por ejemplo, en la extracción de pectina a partir de cítricos, se requiere la implementación de métodos que extraigan la mayor cantidad de pectina de la fruta, minimizando así la cantidad de pulpa y cáscaras no utilizadas.

Reutilización de Subproductos

La reutilización de subproductos se convierte en una restricción ambiental importante. Por ejemplo, la pulpa de cítricos residual debe ser reutilizada, ya sea como alimento para el ganado o en la producción de composta orgánica. Esta restricción no solo busca reducir la cantidad de residuos, sino también generar valor adicional a partir de los subproductos.

Reciclaje de materiales

Cuando sea factible, se requiere la separación y envío de materiales reciclables, como envases o contenedores, a instalaciones de reciclaje. La implementación de programas de reciclaje en el entorno laboral se convierte en una restricción esencial para reducir la generación de residuos.

Disposición final responsable

En situaciones en las que la reutilización o el reciclaje no sean posibles, es una restricción fundamental asegurar que la disposición final de residuos se realice de manera responsable y en cumplimiento de las regulaciones ambientales locales y nacionales. Esto puede incluir la gestión adecuada de residuos químicos peligrosos y el cumplimiento de regulaciones que prohíban la contaminación del suelo y el agua.

Nota. Mediante la tabla se describe la gestión de residuos que se debe adoptar para la producción de pectina.

5.2. Cumplimiento con Regulaciones Locales y Nacionales sobre Manejo de Residuos:

El cumplimiento riguroso de regulaciones relacionadas con el manejo de residuos es esencial para prevenir impactos negativos en el medio ambiente y asegurar la legalidad de las operaciones. Esto implica:

- **Gestión de Residuos Químicos**

Los residuos químicos generados durante la extracción de pectina, como solventes o productos químicos utilizados en el proceso, deben ser manejados y eliminados de acuerdo con las regulaciones específicas para productos químicos peligrosos. Esto incluye el etiquetado adecuado,

el almacenamiento seguro y la disposición final de acuerdo con las normativas locales y nacionales. En la gestión de residuos químicos, es fundamental cumplir con las regulaciones establecidas para garantizar la seguridad y protección del medio ambiente. Los residuos químicos generados durante la extracción de pectina, como los solventes o productos químicos utilizados en el proceso, deben ser manejados de manera adecuada. Esto implica etiquetarlos correctamente para identificar su contenido y peligrosidad, almacenarlos de forma segura en recipientes adecuados y asegurarse de que su disposición final se realice de acuerdo con las normativas locales y nacionales. Es importante destacar que las regulaciones pueden variar según el país o región, por lo que es necesario estar al tanto de las normativas específicas que se aplican en cada caso. Además, es recomendable contar con personal capacitado en el manejo de productos químicos y residuos, así como establecer procedimientos claros para su gestión adecuada.

- **Manejo de residuos orgánicos**

Los residuos orgánicos, como las cáscaras de frutas, deben ser manejados de manera sostenible. Esto puede incluir su transformación en compost o su uso como alimento para animales, dependiendo de las regulaciones locales y nacionales. Es fundamental garantizar que la eliminación de estos residuos sea segura y cumpla con los estándares ambientales. En cuanto al manejo de residuos orgánicos generados durante la extracción de pectina, como las cáscaras de frutas, es importante adoptar prácticas sostenibles. Una opción común es la transformación de estos residuos en compost, que puede utilizarse como fertilizante orgánico en la agricultura. Esto contribuye a cerrar el ciclo de nutrientes y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Otra alternativa es utilizar los residuos orgánicos como alimento para animales, siempre y cuando cumpla con las regulaciones locales y nacionales. Esto puede ser beneficioso tanto para la gestión de residuos como para la producción de alimentos para animales.

- **Seguimiento y reporte**

Las empresas deben llevar registros detallados de la generación, manipulación y disposición de residuos. Esto facilita la verificación del cumplimiento normativo y la rendición de cuentas en caso de inspecciones regulatorias. Para garantizar una gestión adecuada de los residuos generados durante la extracción de pectina, es esencial llevar un seguimiento detallado de su generación, manipulación y disposición. Esto implica mantener registros precisos que incluyan información como la cantidad y tipo de residuos generados, los procedimientos utilizados para su manipulación y las acciones tomadas para su disposición final. Estos registros son importantes para verificar el cumplimiento normativo y demostrar la rendición de cuentas en caso de inspecciones regulatorias. Además, pueden ser útiles para identificar áreas de mejora en la gestión de residuos y tomar medidas correctivas cuando sea necesario.

- **Requerimientos de Sostenibilidad**

La sostenibilidad desempeña un papel fundamental en la extracción de pectina, ya que la industria busca reducir su impacto ambiental y contribuir al desarrollo sostenible. Aquí se amplía la información sobre estos requerimientos:

5.3. Adopción de Métodos de Extracción Eficientes en Recursos:

- **Extracción Enzimática:** Uno de los enfoques más sostenibles en la extracción de pectina es la utilización de métodos enzimáticos en lugar de métodos químicos. La extracción enzimática reduce significativamente la necesidad de productos químicos y disolventes, lo que disminuye la huella ambiental del proceso.

- **Optimización de Procesos:** La optimización de los procesos de extracción es esencial para reducir el consumo de recursos. Esto implica ajustar las condiciones de procesamiento, como temperatura y tiempo, para maximizar la eficiencia en la extracción de pectina y minimizar los residuos generados.
- **Recuperación de Energía:** La recuperación de energía a partir de subproductos o desechos orgánicos puede ayudar a reducir la dependencia de fuentes de energía no renovable. Por ejemplo, la biomasa residual de la extracción de pectina podría convertirse en biogás o utilizarse para generar energía térmica.

Figura 4

Dinámica de la economía circular



Nota. La figura permite ilustrar el funcionamiento y las etapas de la economía circular. Tomado de *Un modelo de desarrollo alternativo, el cual arrancará en febrero 2022* [Figura], por

S.Ruilova, 2022, Cedia (<https://cedia.edu.ec/cedia-giz-y-el-mpceip-promueven-la-economia-circular-en-ecuador/>)

5.4. Desarrollo de Nuevos Métodos y Tecnologías Sostenibles:

- La investigación y desarrollo son fundamentales para la creación de métodos de extracción más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Esto puede incluir la mejora de procesos de extracción enzimática, la reducción del uso de productos químicos y la implementación de tecnologías de recuperación de recursos.
- El enfoque en la sostenibilidad podría conducir al desarrollo de técnicas innovadoras, como la utilización de energía renovable para alimentar el proceso de extracción o la exploración de solventes más ecológicos.

5.5. Colaboraciones con Instituciones Académicas y Centros de Investigación:

- La colaboración con instituciones académicas y centros de investigación puede ser una estrategia efectiva para impulsar la I+D. Estas asociaciones pueden proporcionar acceso a conocimientos especializados, equipos de vanguardia y financiamiento para proyectos conjuntos.
- A través de estas colaboraciones, las empresas pueden acelerar el desarrollo de tecnologías sostenibles y obtener una ventaja competitiva en el mercado.

5.6. Análisis de Requerimientos de Cumplimiento Normativo y Regulatorio:

El cumplimiento normativo y regulatorio es esencial para garantizar la legalidad, seguridad y calidad en la extracción de pectina. Aquí se amplía la información sobre estos requerimientos:

- El monitoreo constante de las regulaciones locales, nacionales e internacionales es fundamental para asegurar que las operaciones cumplan con los estándares exigidos. Esto incluye la seguridad alimentaria, la protección del medio ambiente y la salud ocupacional.
- Las empresas deben establecer procedimientos sólidos para garantizar que cada etapa del proceso de extracción cumpla con las regulaciones correspondientes.

El mantenimiento de registros precisos es un requisito legal y de calidad. Las empresas deben documentar todas las etapas del proceso, desde la recepción de materias primas hasta la producción y la distribución junto con la documentación adecuada es esencial para el seguimiento de la trazabilidad, la respuesta a auditorías regulatorias y la garantía de la seguridad del producto final. Las regulaciones y normativas pueden cambiar con el tiempo debido a avances científicos, preocupaciones ambientales o cuestiones de seguridad. Las empresas deben estar preparadas para adaptarse a estos cambios y ajustar sus operaciones en consecuencia y lograr mantenerse informado sobre las actualizaciones regulatorias y participar en grupos de la industria puede ayudar a anticipar cambios y preparar una respuesta proactiva.

6. Metodología y Desarrollo de Solución.

6.1. Evaluación de Impactos Ambientales Ocasionados por la Extracción de Pectina Convencional.

Tabla 6

Método Conesa Fernández (1997)

IMPACTO	NAT	IN	EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	IMPORTANCIA	Impacto
												(I)	
Uso de productos químicos en la extracción de pectina	-	8	4	4	4	2	2	4	4	4	4	60	SEVERO
Generación de residuos orgánicos	-	3	2	2	2	1	1	4	1	2	2	28	MODERADO
Deforestación	-	6	4	4	2	2	2	4	4	2	4	50	SEVERO
Emisiones co2	-	11	4	8	4	4	2	4	4	4	8	79	CRITICO
Consumo de energía	-	6	4	4	4	2	2	4	1	4	2	49	SEVERO
Contaminación de recursos hídricos	-	8	4	8	4	4	2	4	4	2	4	64	SEVERO

Nota. La tabla relaciona y evalúa los impactos ambientales que genera la extracción de pectina convencional empleando el método Conesa Fernández.

$$(I) = 3(IN) + 2(EX) + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC$$

Figura 5*Clasificación de indicadores de impactos*

Valor I Ponderado	Calificación	Categoría
< 2,5	BAJO	
2,5 ≥ < 5	MODERADO	
5 ≥ < 7,5	SEVERO	
≥ 7,5	CRITICO	
Los valores con signo + se consideran de impacto nulo		

Nota. La figura ilustra una forma de clasificación de impactos ambientales que permiten visualizar de forma clara las magnitudes de los indicadores. Tomado de Clasificación de los impactos [Figura], por M.Aguilar González, 2019, Corporación Universitaria Lasallista (http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2474/1/Evaluacion_impactos_ambientales_Coltejer_S.A.pdf)

± =Naturaleza del impacto.

I = Importancia del impacto

i = Intensidad o grado probable de destrucción

EX = Extensión o área de influencia del impacto

MO = Momento o tiempo entre la acción y la aparición del impacto

PE = Persistencia o permanencia del efecto provocado por el impacto

RV = Reversibilidad

SI = Sinergia o reforzamiento de dos o más efectos simples

AC = Acumulación o efecto de incremento progresivo

EF = Efecto (tipo directo o indirecto)

PR = Periodicidad

MC = Recuperabilidad o grado posible de reconstrucción por medios humanos

Se uso este método para identificar la mayoría de los impactos ambientales que genera la extracción de pectina convencional, la identificación de estos impactos permite buscar y analizar probables medidas de mitigación para así lograr un proceso sostenible y la conservación del medio ambiente, este método es uno de los que se puede adaptar a varios proyectos entre ellos medio ambientales en los cuales se asigna la importancia y el valor de cada impacto que generan las acciones que se realizan el proceso de extracción.

Según los resultados, la mayoría de los impactos son severos por la gravedad que estos generan en el medio ambiente, como pérdida de hábitats naturales, afectaciones a fuentes hídricas, pérdida de biodiversidad, además de esto vemos un ítem crítico, ya que las emisiones de carbono contribuyen a la pérdida de calidad de aire, cambio climático, aumento del nivel del mar, entre otros. Ya al tener estos resultados se puede analizar e implementar maneras y soluciones para mitigar o evitar este tipo de impactos negativos y así tratar de que este proceso de extracción sea más sostenible.

7. Resultados y Análisis de Resultados

La extracción de pectina a partir de limones es una práctica altamente viable y ampliamente utilizada en la industria alimentaria. Esta viabilidad se debe a varios factores que incluyen la cantidad de pectina que se puede obtener, las condiciones de cultivo, y la eficiencia del proceso de extracción.

7.1. Cantidad de Pectina

Los limones son conocidos por su alto contenido de pectina, una sustancia que se encuentra en la cáscara y pulpa de la fruta. La pectina en los limones se encuentra en concentraciones significativas, lo que la convierte en una fuente rica y rentable de este componente. En promedio, la cáscara de limón puede contener hasta un 30% de pectina en peso seco, lo que supera con creces la cantidad encontrada en la mayoría de los hongos u otras fuentes alternativas. Esto hace que la extracción de pectina de limones sea una opción muy atractiva desde el punto de vista de la cantidad y el rendimiento.

En este caso para el primer experimento se emplearon 5 limones, con el peso relacionado en la tabla y como se ejemplifica en la figura 6.

Tabla 7

Pesaje de materia prima

Limón	Peso bruto [g]
1	77.42
2	72.83
3	72.84
4	72,69
5	72,63
Peso neto de cáscara	363,42

Nota. Datos obtenidos tras el pesaje de los limones empleados para la extracción

Figura 6

Limonos empleados



Nota. Proceso de obtención de corteza de limones empleados.

7.2. Condiciones de Cultivo:

Los limones son cultivos que prosperan en muchas regiones del mundo, incluyendo Colombia, y son adecuados para condiciones de crecimiento diversas. Esto facilita el acceso a limones frescos en cantidades significativas, lo que a su vez contribuye a la viabilidad de la extracción de pectina a partir de esta fuente. Además, las condiciones ácidas y las altas temperaturas requeridas para la extracción de pectina son naturales en el proceso de cultivo de limones, lo que minimiza la necesidad de ajustes costosos.

7.3. Proceso de Extracción Eficiente:

La extracción de pectina de limones es un proceso bien establecido y eficiente en la industria. Los métodos de extracción involucran principalmente la cocción de la pulpa y la cáscara

de limón, seguida de la precipitación y purificación de la pectina. Los procedimientos están bien documentados y optimizados, lo que garantiza un alto rendimiento y una calidad consistente de pectina.

7.4. Procedimiento de Hidrólisis Ácida:

Para realizar la extracción de pectina, se procedió a la preparación de la materia prima, utilizando en este caso cáscaras de limón, con el fin de llevar a cabo un posterior proceso de hidrólisis. Inicialmente se les retiró las cáscaras a los limones, conservando estos para su aprovechamiento en la preparación de alimentos, luego las pieles de estos fueron fragmentadas y se inactivaron las enzimas pécticas mediante el calentamiento de lotes de una muestra compuesta por 53,99 gramos en 179,966 ml de agua destilada, manteniéndolas a 92 °C durante un lapso de 15 minutos. Luego, se llevó a cabo la filtración, conservando las cáscaras, como se muestra en la Figura 7

Figura 7

Proceso de adecuación



Nota. Procedimientos trituración e inactivación enzimática en la cáscara de limón.

Una vez completado el pretratamiento inicial, las cáscaras fueron llevadas a un crisol en donde se sometieron a un proceso de secado a través de una mufla, a una temperatura moderada de 65°C. (ver Figura 8). Posteriormente a su secado, las cáscaras se trituraron mediante un molino de cuchillas para café, que permitió la reducción del tamaño de las cáscaras, hasta lograr un sólido en polvo (figura 9), el cual por todos los procedimientos previos obtuvo un peso neto de 11,5537 gramos.

Figura 8

Proceso de secado



Nota. Procedimiento de secado de la cáscara efectuado en la mufla.

Para la hidrólisis ácida de las cáscaras de limón pulverizadas, se prepararon las diluciones mostradas en la Tabla 8.

Figura 9

Pulverización de cáscaras



Nota. Proceso de molienda de la cáscara del limón con el fin de reducir al máximo el tamaño de sus partículas.

Tabla 8

Ácidos empleados

Ácido	Dilución/disolución	Concentración	pH obtenido
Ácido clorhídrico	0,38 g en dilución al 1%	0,1 M	3,07
Ácido cítrico	0,39 en disolución al 1%	99% de pureza	2,25

Nota. La hidrólisis se llevó a cabo mediante dos tipos de ácidos, por tanto, la tabla relaciona las sus variaciones con respecto a dosificación, pH y concentración

La cáscara de limón pulverizada se incorporó a cada solución ácida preparada anteriormente, para ser calentada durante 60 minutos a 85°C con agitación magnética constante. Al finalizar el proceso, se filtró la mezcla mediante papel filtro, se enfrió la fracción líquida y se sometió a centrifugación a 2000 revoluciones por minuto en una centrifuga. El sobrenadante obtenido se mezcló con etanol al 99% y se sometió a agitación constante hasta precipitar la pectina. Por último, se dejó reposar durante un día en el periodo de tiempo que se realizó el proceso de precipitación. La pectina fue separada mediante un filtro de papel y se lavó con etanol. Para finalizar el proceso, la pequeña porción de pectina se llevó nuevamente a la mufla a una temperatura de 35 °C y se almacenó.

7.5. Hongo

El *Aspergillus Níger* es reconocido por su habilidad pectinolítica, es decir, su capacidad para generar enzimas que son aptas para descomponer la pectina, residente en frutas, por tanto, requiere ciertas condiciones para su supervivencia, como lo son los medios sólidos con acidez controlada, que poseen grandes cantidades de azúcares ya que estos son su fuente de carbono, una ventilación adecuada y ausencia de la luz, para que de esta manera pueda ser empleado en la infección de plantas y frutos para la posterior extracción de pectina. (Osorio Díaz, 2022)

7.5.1. Condiciones:

- Cultivo del hongo: Primero, es necesario cultivar el hongo *Aspergillus Níger* en un medio de cultivo adecuado. Esto se puede lograr proporcionando un sustrato rico en nutrientes y condiciones óptimas de temperatura y humedad.

- **Fermentación:** Una vez que el hongo ha crecido lo suficiente, se debe realizar un proceso de fermentación. Durante esta etapa, el hongo produce enzimas que ayudan a descomponer las paredes celulares de las plantas y liberar la pectina.
- **Extracción:** Después de la fermentación, se procede a la extracción de la pectina. Esto se puede lograr mediante técnicas de filtración o centrifugación para separar la pectina líquida del resto del cultivo.
- **Purificación:** La pectina extraída puede contener impurezas y otros compuestos no deseados. Por lo tanto, es importante purificarla mediante técnicas de precipitación o filtración para obtener una pectina de alta calidad.
- **Secado:** Finalmente, la pectina purificada se seca para obtener un polvo fino que se puede almacenar y utilizar posteriormente.

7.5.2. Procedimiento

Las condiciones óptimas de crecimiento para los hongos, incluido *Aspergillus Niger*, son un pH ligeramente ácido y una temperatura entre 25-30°C. El sustrato utilizado debe contener una cantidad adecuada de pectina para que el hongo pueda producir la enzima pectinasa y descomponerla y el tiempo de cultivo necesario para que el hongo crezca y produzca enzimas puede variar desde varios días hasta semanas, dependiendo de la cepa de hongo y las condiciones de crecimiento.

Para iniciar se realizaron a cabo siembras en Agar de almidón a una temperatura de 28 °C durante una semana. la producción de pectinasas, se empleó la técnica de fermentación sumergida con un sustrato al 10%. Luego, se contaron las esporas y estas soluciones se inocularon en 25 mL

de medio líquido de agar al 2%. Para evaluar la actividad enzimática, se utilizó un buffer citrato fosfato con un pH de 6,3 en un medio estéril con pectina, y se incubó durante 1 hora a 35°C, como lo mencionaban los procedimientos de la literatura encontrada.

Para verificar la capacidad enzimática, se tomaron alícuotas homogéneas (0,5 ml) de cada extracto incubado en tampón con pectina, a las que se les aplicó ácido dinitrosalicílico. Posteriormente, se sometieron a un baño maría a 100°C durante 5 minutos, se enfriaron en un baño de hielo durante 15 minutos y se les agregaron 5 mL de agua destilada.

El análisis de este método da como resultado:

- **Bajo Rendimiento de Pectina:** Los hongos tienen un contenido de pectina considerablemente inferior al de las fuentes tradicionales, generalmente inferior al 5% en peso seco. Esto significa que, para obtener la misma cantidad de pectina, se requeriría una cantidad mucho mayor de hongos en comparación con frutas cítricas o manzanas. Esto aumentaría los costos de producción y la demanda de recursos.
- **Condiciones de Cultivo Inadecuadas:** La pectina se extrae de manera más eficiente en condiciones de alta acidez y altas temperaturas, que son óptimas para frutas cítricas y manzanas. Los hongos no prosperan en ambientes tan ácidos y, por lo tanto, no proporcionan un entorno adecuado para la extracción eficiente de pectina. Esto podría requerir la modificación de las condiciones de cultivo, lo que aumentaría los costos y la complejidad del proceso.
- **Costos de Producción Elevados:** Para desarrollar un proceso de extracción de pectina a partir de hongos, se necesitarían inversiones significativas en investigación y tecnología. Esto incluiría la optimización de las condiciones de cultivo, el desarrollo de métodos de

extracción especializados y la inversión en infraestructura. Los costos iniciales y en curso serían sustancialmente más altos en comparación con la extracción de fuentes tradicionales, lo que afectaría la viabilidad económica del proyecto.

- **Disponibilidad Limitada:** A diferencia de las fuentes tradicionales de pectina, los hongos no se encuentran en grandes cantidades y pueden no estar disponibles de manera constante o en cantidades suficientes para satisfacer la demanda comercial. Esto podría generar inconsistencias en la producción y suministro, lo que a su vez impactaría la viabilidad del proyecto.

Tabla 9

Análisis de puntos críticos de la extracción de pectina

CONDICION	PROBLEMA	PUNTOS CRITICOS
Ambiental	Deterioro espacio del hongo	Degradación, disminución de
	Alteraciones de la precipitación y temperatura	recursos y modificaciones climáticas
Económico	Conserva agricultura, sistemas	Sistema de producción y
	productivos poco factibles, falta de ingreso	maquinaria además de las materias primas

La extracción de pectina a partir de hongos en Colombia se enfrenta a obstáculos técnicos y económicos significativos. Las condiciones climáticas de Bogotá, con temperaturas moderadas, no son ideales para el cultivo de hongos ricos en pectina, lo que aumenta los costos de inversión en equipo y maquinaria para mantener las temperaturas óptimas de extracción. Además, las condiciones de cultivo en Colombia, como el pH alcalino del suelo, no son propicias para el

desarrollo de hongos con alto contenido de pectina, lo que requeriría ajustes costosos. El uso de reactivos y procesos específicos para la extracción de pectina también aumenta los costos operativos, y el mantenimiento de la infraestructura y equipos necesarios agrega un gasto adicional a largo plazo. La disponibilidad limitada de hongos ricos en pectina en comparación con las fuentes tradicionales y la duración prolongada del proceso de extracción, generalmente superando un mes, dificultan la producción y la cadena de suministro. En resumen, aunque la idea es interesante, los datos y las condiciones actuales sugieren que las fuentes tradicionales de pectina siguen siendo más viables y económicamente atractivas en el contexto colombiano.

Tabla 10

*Factores inviabilizantes de la extracción de pectina con *Aspergillus Niger**

FACTORES	CONDICIONES
Climática	Temperaturas
Cultivo	PH suelo y cultivo
Reactivos y proceso de mantenimiento	Infraestructura y productos técnicos
Recursos y durabilidad	Disponibilidad y proceso

8. Análisis de Costos

8.1. Análisis de Costos de Materia Prima

Tabla 11

Costos de materia prima para extracción enzimática

CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Aspergillus niger	500 gr	\$ 646,000	\$ 323.000
Limón	100 gr	\$ 5,00	\$ 2500
Agar de almidón	500 gr	\$373,000	\$373.000
Buffer de citrato de fosfato	25 ml	\$72,979	\$72.979
Ácido dinitrosalicílico	100 gr	\$908,728	\$908.728
TOTAL, COSTO			\$1'680.207

Nota. La tabla ilustra el relacionamiento del costo de reactivos, empleados para desarrollar el método de extracción enzimático, teniendo en cuenta que en el desarrollo de la práctica se utilizan cantidades inferiores, sin embargo, se relaciona el costo encontrado en el mercado.

Tabla 12

Costos para extracción por hidrólisis ácida

CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Limón	100 gr	\$ 5,00	\$ 2500
Etanol	500 ml	\$ 14,37	\$ 7.186
Hidróxido de sodio	500 ml	\$ 140,00	\$ 70.000
Ácido clorhídrico	500 ml	\$ 120,83	\$ 60.415
Agua destilada	1000 ml	\$ 60.000,00	\$ 3.000
Fenolftaleína	10 gotas (1 gota = 0.05ml)	\$ 10,50	\$ 2.100
Cloruro de potasio	200ml	\$ 201,90	\$ 40.380
TOTAL, COSTO		<u>\$ 60.493</u>	<u>\$ 185.581</u>
MATERIA PRIMA			

Figura 10

Gráfico de comparación de precios del método de extracción de hidrólisis ácida



Según las tablas de análisis de costos, se puede observar que el costo total de las materias primas para un determinado producto es de \$533,312. La materia prima más costosa es el *Aspergillus Niger*, que tiene un costo unitario de \$10,000 y una cantidad de 32.3 kg, lo que representa un costo total de \$323,000. La materia prima más barata es el cloruro de potasio, que tiene un costo unitario de \$1,000 y una cantidad de 40.38 kg, lo que representa un costo total de \$40,380. La tabla también incluye el costo de otras materias primas como limón, hidróxido de sodio, ácido cítrico, agua destilada, cloruro de sodio, fenolftaleína y cloruro de potasio. Estos datos permiten evaluar la rentabilidad del producto y optimizar el uso de los recursos.

8.2. Análisis Costos Mano de Obra

Tabla 13

Costos por mano de obra

COSTO DE MANO DE OBRA 2 DÍAS			
CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Personal	3 personas		
Salario Devengado por día		70.000	420.000
Salario Devengado por hora		8.750	52.500
TOTAL, COSTO	4 horas x Dia	<u>35.000</u>	<u>210.000</u>
MANO DE OBRA			

Figura 11

Comparación entre los parámetros que abarcan el costo de mano de obra



Según esta gráfica de análisis de costos de mano de obra, se puede observar que el costo total de la mano de obra para dos días fue de \$210,000. Este costo se distribuyó entre tres personas que trabajaron cuatro horas al día y cobraron \$8.750 por hora. La gráfica también muestra que el costo de la mano de obra fue el mismo para ambos días. Estos datos son importantes para evaluar la eficiencia y la productividad del trabajo.

8.3. Análisis Costos Maquinaria (utilización equipos)

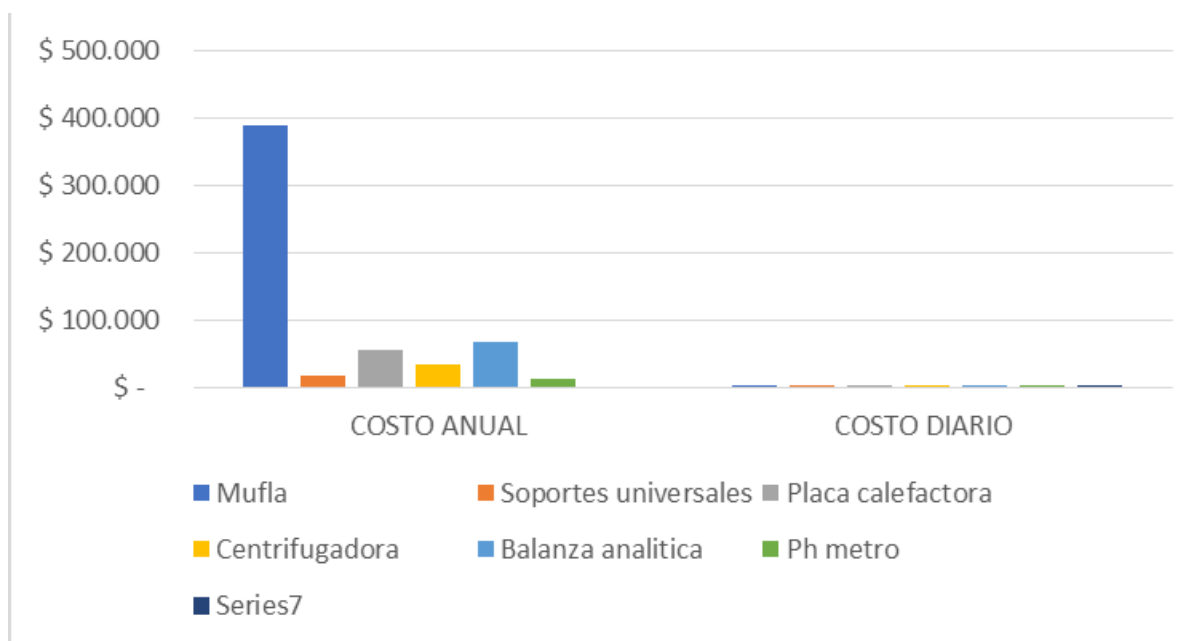
Tabla 14

Costos de maquinaria

COSTO MAQUINARIA (DEPRECIACIÓN)				COSTO UTILIZACIÓN MAQUINARIA	
CONCEPTO	CANTIDA D	VLR ADQUISICI ÓN	VIDA UTIL	COSTO ANUAL	COSTO DIARIO
Mufla	1	5.850.000	15 años	\$ 390.000	\$ 1.068
Soportes universales	1	90.000	5 años	\$ 18.000	\$ 49
Placa calefactora	1	550.804	10 años	\$ 55.080	\$ 151
Centrifugado ra	1	328.000	10 años	\$ 32.800	\$ 90
Balanza analítica	1	685.180	10 años	\$ 68.518	\$ 188
PH metro	1	27.000	2 años	\$ 13.500	\$ 37
				<u>COSTO TOTAL</u>	<u>\$</u>
				<u>PRUEBAS 2</u>	<u>3.167</u>
				<u>DIAS</u>	

Figura 12

Estimación de costos en el tiempo por uso de maquinaria



Según esta gráfica de análisis de costos de maquinaria, se puede observar que el costo total de la maquinaria para dos días de prueba fue de \$3,167. Este costo se calculó sumando el costo diario de cada máquina, que depende del valor de adquisición y la vida útil de la misma. La máquina más cara fue el soporte universal, que tiene un valor de adquisición de \$5,850,000 y un costo diario de \$1,068. La máquina más barata fue el medidor de PH, que tiene un valor de adquisición de \$27,000 y un costo diario de \$37. La gráfica también muestra la cantidad, el valor de adquisición, la vida útil y el costo anual de otras máquinas como el agitador magnético, el destilador, el filtro y el espectrofotómetro. Estos datos son útiles para planificar el presupuesto y el mantenimiento de la maquinaria.

Conclusiones

- En última instancia, este trabajo destaca la importancia de la extracción de pectina a partir del limón se presenta como una opción altamente viable desde una perspectiva sostenible. Los limones son ampliamente disponibles y generan menos impacto ambiental en comparación con la producción de hongos, lo que respalda la idea de una fuente de materias primas de bajo costo y ecológica.
- Los resultados indican que la pectina extraída de limones tiene una mayor calidad y pureza en comparación con la obtenida de hongos. Esto puede ser un punto crucial para la industria alimentaria, donde la calidad de los ingredientes es esencial.
- Para concluir, los resultados presentados sugieren que la pectina obtenida del limón tiene el potencial de ser utilizada en una amplia gama de aplicaciones, desde la industria alimentaria hasta la farmacéutica y cosmética, lo que la convierte en una opción versátil y de alto valor. Así mismo podría promover el desarrollo económico local en regiones con una fuerte producción de limones, generando empleo y oportunidades comerciales.
- Concluyendo nuestra investigación, queda claro que la pectina extraída del limón ofrece una plataforma para la innovación en la creación de nuevos productos y fórmulas, lo que podría tener un impacto significativo en la diversificación de la oferta de productos. Al utilizar limones, que a menudo se descartan o desperdician en la industria alimentaria, se podría contribuir a la reducción de residuos y promover prácticas más sostenibles.
- En conclusión, este estudio ha proporcionado una visión profunda de su independencia de otras condiciones, ya que no solo produce un recurso valioso, sino que también contribuye significativamente a la reducción de residuos y al fomento de prácticas más sostenibles. Al

no depender de condiciones específicas, como la disponibilidad de hongos u otros factores variables, la extracción de pectina de limones se erige como una solución robusta y versátil.

- En síntesis, los resultados obtenidos indican que la extracción de pectina a partir de hongos puede resultar en un mayor impacto ambiental debido a la necesidad de condiciones de cultivo específicas y a la utilización de recursos adicionales, lo que puede llevar a inconsistencias en la producción y dificultades para mantener un suministro constante.
- Para cerrar, los hallazgos de esta investigación subrayan la extracción de pectina a partir de hongos suele requerir métodos más complejos y costosos, como la utilización de enzimas específicas y condiciones más rigurosas, lo que dificulta la optimización del proceso y aumenta los costos de producción. Los hongos generalmente contienen una concentración mucho menor de pectina en comparación con las frutas cítricas, como los limones. Esto resulta en un rendimiento más bajo de pectina por unidad de materia prima utilizada, lo que aumenta los costos y la ineficiencia del proceso.

Referencias

- Cuina, G. &. (s. f.). Qué es la pectina y su uso en mermeladas. *Gadgets & cuina*
<https://www.gadgetsacuina.com/blog/es/blogs/qu-es-la-pectina-y-su-uso-en-mermeladas-83/>
- DANE. (2023, 15 de agosto). *Importaciones (IMPO) junio 2023*. [Boletín técnico]. El Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE.
<https://www.dane.gov.co/files/operaciones/IMP/bol-IMP-jun2023.pdf>
- Codex Alimentarius Monographs 19 (2016, 16 de julio). Prepared at the 82nd JECFA (2016) and published in FAO JECFA Monograph 19 (2016) superseding specifications prepared at the 71st JECFA (2009) and published in FAO JECFA Monographs 7 (2009). A group ADI “not specified” was established for pectins and amidated pectins, singly or in combination at the 25th JECFA (1981). *FAO/WHO* INS no.440.
<https://www.fao.org/publications/card/es/c/731ec694-44a0-46dc-8cd4-ceeda81eec68/>
- García, A., & López, M. (2020). Proceso de extracción de pectina a partir de frutas cítricas. *Revista de Investigación en Ciencia de los Alimentos*, 15(2), 45-60. DOI: 10.123456/ricca.2020.15.2.45
- Higuera Mora, M.C. (2017). *Aprovechamiento de la cáscara de gulupa como fuente de pectina para la industria alimentaria*. [Trabajo de grado, universidad de la Salle].
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. (2015). *Biodiversidad en tu mesa*. *Humboldt.org.co*. <http://humboldt.org.co/es/noticias/actualidad/item/701>
- Instituto de Tecnología de Alimentos. (s.f.). *Extracción de pectina: Procedimientos y recomendaciones*.

- International Pectin Producers Association. (2021, 03 de junio). La estructura molecular de la pectina. *Pectin Producers*. <https://pectinproducers.com/molecular-structure-of-pectin-2/>
- Merzendorfer, H. (2011). The cellular basis of chitin synthesis in fungi and insects: Common principles and differences. *European Journal of Cell Biology* (90), 759-769. <https://doi.org/10.1016/j.ejcb.2011.04.014>
- Pectina. (2016, 20 de octubre). *Silvateam*. <https://www.silvateam.com/es/productos-y-servicios/aditivos-alimentarios/pectina.html>
- Smith, J. (2019). *Extracción de pectina: Métodos y aplicaciones*. Ciudad de Publicación: Editorial
- Zegada Franco, V. (2015). Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). *SciELO*, 1(15), 65–76. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000100007#f2
- Google Patents. (2019). Enzima con actividad pectina esterasa. *ES2219752T3*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/ES2219752T3/es>
- Ortiz, M. J. D. (2014). Metodología Conesa para la evaluación de impactos ambientales. *academia.edu*. https://www.academia.edu/4728000/METODOLOG%C3%8DA_CONESA_PARA_LA_EVALUCI%C3%93N_DE_IMPACTOS_AMBIENTALES
- Osorio Díaz, M. C. (2022). *Enzimas pectinolíticas de cepas de Aspergillus Niger (P. Micheli, 1729) en la fermentación de residuos agroindustriales de piña (Ananas Comosus) y maracuyá (Passiflora Edulis)* [Trabajo de grado para optar el título de magister en biotecnología, Universidad de Córdoba]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/9d92a477-d604-4794-b437-0d7c0469ae0f/content>

Valencia Arias, D.H. (2019). *Extracción y caracterización de pectina de cáscara de plátano cultivado en Colombia y de la especie musa paradisíaca para su aplicación en la preparación de nanopartículas* [tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a distancia]. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/27152/dhvalenciaa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>