



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA**

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter
Complexivo, presentado al H. Consejo Directivo de la
Facultad, como requisito previo a la obtención del título
de:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

TEMA:

Residuos vegetales para obtención de pectina y su utilización en la
Industria Alimentaria

AUTORA:

Maytee Yamileth Noboa Herrera

TUTOR:

Ing. Juan Andrés Villamarín, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

La gestión sostenible de residuos vegetales se ha convertido en una prioridad debido a su creciente producción a nivel mundial, estimada en aproximadamente 3.5 mil millones de toneladas anuales. Los residuos vegetales como la naranja, el limón y la manzana son gran fuente de pectina y se utiliza en la industria de alimentos, como espesante, estabilizante y gelificante. Además, se emplea en alimentos enriquecidos con antioxidantes, lo que la hace útil en la producción de alimentos funcionales con propiedades saludables adicionales. Por otro lado, la cáscara de limón también es una fuente significativa de pectina, y la hidrólisis enzimática se presenta como un método económico y eficiente para su extracción. La pectina de limón se utiliza principalmente como agente espesante en la producción de productos lácteos, mermeladas y jaleas, gracias a su capacidad para formar geles firmes y estables. En cuanto a la cáscara de manzana, se ha demostrado que contiene un alto contenido de pectina, especialmente cuando se utiliza la hidrólisis ácida. Este método de extracción produce altos rendimientos en un tiempo relativamente corto y a temperatura ambiente o ligeramente elevada, lo que reduce los costos de energía en comparación con otros métodos.

PALABRAS CLAVES: Biodegradables, desechos, hidrólisis.

SUMMARY

The sustainable management of vegetable waste has become a priority due to its increasing production worldwide, estimated at approximately 3.5 billion tons per year. Vegetable waste such as orange, lemon and apple is a great source of pectin and is used in the food industry as a thickener, stabilizer and gelling agent. It is also used in foods enriched with antioxidants, which makes it useful in the production of functional foods with additional health properties. On the other hand, lemon peel is also a significant source of pectin, and enzymatic hydrolysis is presented as an economical and efficient method for its extraction. Lemon pectin is mainly used as a thickening agent in the production of dairy products, jams and jellies, thanks to its ability to form firm and stable gels. As for apple peel, it has been shown to contain a high pectin content, especially when acid hydrolysis is used. This extraction method produces high yields in a relatively short time and at room or slightly elevated temperature, which reduces energy costs compared to other methods.

KEY WORDS: Biodegradables, waste, hydrolysis.

INDICE

RESUMEN	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	5
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	6
2. DESARROLLO	6
2.1. MARCO CONCEPTUAL	6
2.1.1. Residuos vegetales	6
2.1.2. Características de los residuos vegetales	7
2.1.3. Ventajas de los residuos vegetales	7
2.1.4. Residuo de la cáscara de naranja	8
2.1.5. Residuo de la cáscara de manzana	8
2.1.6. Residuo de la cáscara de limón	9
2.1.7. Problemática mundial de los residuos vegetales	9
2.1.8. Historia de la pectina	10

2.1.9.	Pectina	10
2.1.10.	Estructura de la pectina	11
2.1.11.	Métodos de extracción de la pectina	11
2.1.12.1.	Hidrolisis ácida asistida por microondas (HMO)	12
2.1.12.2.	Hidrólisis ácida convencional	13
2.1.12.3.	Hidrolisis enzimática	13
2.1.12.4.	Hidrolisis ácida	15
2.1.13.	Residuos con mayor grado de pectina y métodos de extracción ...	15
2.1.14.	Aplicaciones Industriales	17
2.1.15.	Grado de esterificación de la pectina	20
2.2.	MARCO METODOLOGICO	21
2.3.	RESULTADOS	22
2.4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	23
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	24
3.1.	CONCLUSIONES	24
3.2.	RECOMENDACIONES	25
4.	REFERENCIAS Y ANEXOS	27
4.1.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	27
4.2.	ANEXOS	34

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. Introducción

En la industria alimentaria, las cáscaras vegetales a menudo son subestimadas y desechadas como residuos, a pesar de su potencial valioso. Esta práctica genera un desperdicio significativo de recursos, ya que estas partes, ricas en nutrientes y compuestos beneficiosos, podrían aprovecharse de manera efectiva. Abordar esta problemática no solo reduce el impacto ambiental, sino que también abre la puerta a la obtención de ingredientes valiosos, como la pectina, que pueden ser empleados en diversas aplicaciones industriales (Vargas *et al.*, 2019).

En el escenario global, la magnitud de la producción anual de residuos vegetales se eleva a un asombroso estimado de 3.5 mil millones de toneladas. Este fenómeno no solo refleja la extensión de nuestras actividades agroindustriales a nivel mundial, sino que también subraya la urgencia de abordar de manera efectiva la gestión y aprovechamiento de estos desechos. Estos residuos, generados en diversas etapas de la cadena de producción, no solo representan un desafío ambiental, sino también una oportunidad sin explotar para transformarlos en recursos valiosos (Aguiar *et al.*, 2021).

Ecuador es un país que se destaca por su actividad agroindustrial, produce anualmente considerables cantidades de residuos fácilmente accesibles y de bajo costo, especialmente provenientes de frutas y vegetales, que alcanzan aproximadamente las 712,000 toneladas anuales. Este excedente de residuos, al ser

dispuesto de manera inadecuada, tiene un impacto negativo en el medio ambiente debido a su elevada concentración de materia orgánica. Actualmente, ha surgido un interés en la utilización de estos residuos agroindustriales, no solo como medida para mitigar los impactos ambientales, sino también para conferirles un valor agregado y fortalecer las economías regionales. Para alcanzar este propósito, es imperativo comprender las propiedades y características específicas de cada tipo de residuo generado mediante diversos procesos agroindustriales (Rojas *et al.* 2019).

Las empresas dedicadas al procesamiento de frutas generan residuos como hojas, semillas, cáscaras, estopa y vástago. Si no se les brinda un tratamiento adecuado, estos residuos pueden convertirse en una fuente de contaminación ambiental y representar un problema económico debido a los costos asociados con su disposición final, en los residuos de cascara de frutas se han identificado cantidades promisorias de ácidos grasos (oleico, linoleico, esteárico, etc.) que son ampliamente utilizados en la agroindustria cosmética (Aguiar *et al.*, 2022).

Los desechos o subproductos surgen en cualquier proceso de producción y comúnmente carecen de utilidad subsiguiente como materia prima para la cadena de producción, las industrias generan residuos que pueden ser caracterizados como materiales en forma sólida o líquida obtenidos a partir del consumo directo de productos primarios o de su procesamiento industrial. Estos materiales ya no tienen utilidad para el proceso que los originó, pero pueden ser aprovechados o transformados para dar lugar a otro producto con valor económico, comercial o social. Cada subsector de la agroindustria produce residuos específicos que, en su mayoría,

presentan características ideales para su aprovechamiento en otra cadena de producción o como una alternativa viable (Vargas *et al.*, 2018).

La pectina, un polisacárido complejo compuesto principalmente por ácido galacturónico, se encuentra en los tejidos de las plantas superiores. Este componente, gracias a sus propiedades gelificantes y de absorción, se emplea ampliamente en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. En la industria alimentaria, los geles de pectina desempeñan un papel crucial en la creación o modificación de la textura de productos como compotas, jaleas, salsas, mayonesas y confites. Además, se utiliza en la fabricación de yogurt de fruta y productos lácteos bajos en grasa en la industria láctea (Serrat *et al.*, 2018).

El objetivo de esta revisión bibliográfica es dar a conocer la importancia de los residuos vegetales que pueden ser aprovechados y contribuir a reducir el desperdicio, también a obtener ingredientes valiosos como la pectina para diversos usos, incluyendo aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y cosméticas. Algunos estudios sugieren que ciertos antioxidantes presentes en las cáscaras de vegetales pueden tener propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas y otras propiedades saludables.

1.2. Planteamiento del problema

La extracción de pectina a partir de residuos vegetales, como las cáscaras de frutas y vegetales, enfrenta el desafío de ser un proceso costoso y carecer de manuales claros y accesibles. Esta dificultad se traduce en una limitada

implementación de prácticas eficientes, lo que contribuye al desperdicio de recursos valiosos y al alto costo asociado con la producción de este polisacárido esencial.

En la industria alimentaria, la producción de jugos y mermeladas enfrenta el desafío de mantener una consistencia adecuada que asegure la calidad y la satisfacción del consumidor. La naturaleza líquida de los jugos y la textura gelatinosa de las mermeladas pueden variar debido a factores como la variabilidad de las materias primas, los métodos de procesamiento y las condiciones de almacenamiento. Esta variabilidad en la consistencia puede afectar la experiencia sensorial del consumidor, así como la estabilidad y el rendimiento del producto (Castulovich *et al.*, 2018).

1.3. Justificación de la investigación

La justificación de esta investigación radica en la búsqueda de alternativas sostenibles y económicamente viables para la obtención de pectina, un componente esencial con propiedades gelificantes. Al extraer pectina de residuos vegetales, se propone una solución que no solo reduce el desperdicio de materiales, sino que también ofrece beneficios medioambientales al reutilizar subproductos vegetales, en la industria alimentaria, los gelificantes, espesantes y estabilizantes desempeñan un papel crucial en la formulación de alimentos, contribuyendo a mejorar la textura, estabilidad y consistencia de diversos productos por lo que es importante la utilización de este polisacárido ya que brinda diferentes consistencia a los productos terminados, dándole diferentes perfiles organolépticos y al gusto del consumidor.

La pectina, al ser un componente natural, también se alinea con las tendencias actuales de consumo de productos más naturales y saludables, ya que evita la necesidad de utilizar aditivos artificiales en la industria alimentaria. Además, la producción de pectina a partir de residuos vegetales puede ser una fuente adicional de ingresos para los agricultores y empresas agroalimentarias, contribuyendo así a la economía local y regional.

Desde el punto de vista ambiental, la extracción de pectina a partir de residuos vegetales puede ayudar a reducir la cantidad de desechos orgánicos que se envían a los vertederos, lo que a su vez puede disminuir la emisión de gases de efecto invernadero y la contaminación del suelo y el agua. Esto se alinea con los objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, específicamente con el objetivo 12 de producción y consumo responsables.

1.4. Objetivos de investigación

1.4.1. Objetivo general

Establecer las características de los residuos vegetales para obtención de pectina y su utilización en la Industria Alimentaria.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los residuos vegetales con mayor grado de pectina y los métodos empleados para su obtención.

- Investigar las aplicaciones de la pectina obtenida de residuos vegetales en la industria alimentaria.

1.5. Línea de investigación

Dominio de la UTB: Recursos Agropecuarios, Ambiente, Biodiversidad y Biotecnología.

Línea Faciag: Desarrollo Agropecuaria, Agroindustrial sostenible y sustentable.

Sub-Línea: Procesos Agroindustriales.

2. DESARROLLO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Residuos vegetales

Los residuos vegetales son los restos de plantas que quedan después de la cosecha, el procesamiento o el consumo humano. Estos residuos pueden incluir tallos, hojas, cáscaras, semillas u otras partes de las plantas que no se utilizan directamente para fines alimentarios o industriales. Los residuos vegetales pueden provenir de cultivos agrícolas, jardines, bosques u otras áreas donde crecen plantas. Estos residuos vegetales pueden ser una fuente importante de materia orgánica y nutrientes que, si se manejan adecuadamente, pueden ser reciclados y reutilizados en diversas aplicaciones, como la producción de compost, biogás o productos químicos (Izquierdo, 2020).

2.1.2. Características de los residuos vegetales

- Están compuestos principalmente de materia orgánica, que incluye celulosa, hemicelulosa, lignina, proteínas, lípidos, azúcares y otros compuestos orgánicos.
- Suelen tener un alto contenido de agua, lo que los hace propensos a la descomposición y fermentación.
- Contienen nutrientes importantes, como nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos, que pueden ser beneficiosos.
- Debido a su composición y estructura, los residuos vegetales tienden a tener una baja densidad, lo que los hace livianos y fáciles de transportar y manejar.
- Son biodegradables y se descomponen naturalmente con el tiempo, liberando nutrientes y materia orgánica al suelo (Ocaña, 2022).

2.1.3. Ventajas de los residuos vegetales

Los residuos vegetales ofrecen ventajas significativas en la industria de alimentos. Son una fuente natural de nutrientes y fibra dietética que pueden utilizarse como ingredientes en la formulación de productos alimenticios. Además, pueden ser aprovechados para la producción de biocombustibles o compostaje, lo que reduce la generación de residuos y contribuye a la sostenibilidad ambiental de la industria alimentaria. La utilización de residuos vegetales en la industria de alimentos también puede reducir los costos de producción al reutilizar subproductos que de otro modo serían desechados (Gázquez, 2018).

2.1.4. Residuo de la cáscara de naranja

Dado que cada año se genera una gran cantidad de residuos de naranja, es necesario reducir la cantidad de residuos de naranja y reevaluar su valor. Sólo alrededor del 50% de las naranjas en peso se utilizan y el 50% restante son residuos, lo que significa que Ecuador produce alrededor de 71.000 toneladas de residuos cada año. Otra forma de aprovechar estos residuos es convertir las cáscaras en abono, pero debido a sus propiedades fisicoquímicas inherentes, tardan más en descomponerse. Por lo tanto, es necesario encontrar mejores formas de aprovechar los residuos de naranja, por ejemplo, convirtiéndolos en diferentes productos que el mercado ecuatoriano necesita (Briones *et al.*, 2021).

La naranja (*Citrus sinensis*) destaca como una de las frutas más ampliamente cultivadas a nivel mundial, con una producción que supera los 52 millones de toneladas al año. En Ecuador, la producción anual se sitúa en torno a las 142 mil toneladas. Más allá de su reconocido valor como alimento debido a su rico contenido en vitaminas y minerales, la naranja también ofrece aplicaciones que van más allá del consumo directo, ya que incluso sus residuos pueden transformarse en productos naturales de alto valor agregado, como aceite esencial, pectina, harinas cítricas, bioetanol y biogás (Briones *et al.*, 2021).

2.1.5. Residuo de la cáscara de manzana

El procesamiento del jugo de manzana genera un residuo llamado bagazo de manzana, que incluye cáscara, pulpa, semillas y tallos, representando entre el 25% y

el 30% del peso original de la fruta. A nivel mundial, se procesan alrededor de 11 millones de toneladas de manzanas al año, lo que resulta en aproximadamente 3.3 millones de toneladas de bagazo de manzana anualmente. A pesar de ser considerado un residuo, el bagazo de manzana contiene nutrientes y componentes bioactivos valiosos, como un alto contenido de fibra dietética (Trías *et al.*, 2021).

2.1.6. Residuo de la cáscara de limón

El procesamiento del jugo de limón genera un residuo que comprende la piel exterior de la fruta. Esta cáscara representa una parte significativa del peso original del limón, estimada entre el 10% y el 15%. A nivel mundial, se procesan grandes cantidades de limones cada año, lo que resulta en una considerable cantidad de cáscaras de limón como subproducto, la cáscara de limón contiene nutrientes y compuestos bioactivos valiosos, incluidos aceites esenciales, antioxidantes y fibra dietética. Estos componentes pueden tener diversos usos beneficiosos, como en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica, lo que sugiere un potencial de aprovechamiento y valorización de este subproducto (González & Montes, 2019).

2.1.7. Problemática mundial de los residuos vegetales

La problemática global de los residuos vegetales es un problema importante en la actualidad. La producción masiva de subproductos en procesos agroindustriales conduce a una acumulación excesiva de residuos, lo que causa directamente contaminación ambiental y crea importantes problemas económicos. Estos residuos incluyen partes no utilizadas de frutas, verduras y otros productos y son fuentes

potenciales de contaminación y desechos no utilizados. La mala gestión tiene un impacto negativo no sólo en el medio ambiente, sino también en la sostenibilidad de los procesos agroindustriales (Gutiérrez *et al.*, 2020).

2.1.8. Historia de la pectina

El uso de sustancias gelatinosas presentes en frutas se remonta a tiempos antiguos. Las personas observaron la capacidad de ciertas frutas para formar geles y espesantes, aunque no entendían completamente los procesos químicos involucrados, a medida que avanzaba la ciencia, especialmente en el siglo XIX, los científicos comenzaron a explorar y comprender mejor los componentes de las plantas. En 1825, Henri Braconnot fue uno de los primeros en aislar una sustancia similar a la pectina al extraerla de manzanas el químico alemán Heinrich Twersky acuñó el término "pectina" para describir estas sustancias (Maidana *et al.*, 2019).

2.1.9. Pectina

Las pectinas son heteropolisacáridos de elevado peso molecular que se encuentran en la naturaleza como parte integrante del sistema celular de las plantas, localizadas en la lámina media y las paredes celulares primarias y secundarias de todos los tejidos vegetales. Su componente predominante es el ácido poligalacturónico, el cual está parcialmente esterificado con metanol (González *et al.*, 2022).

2.1.10. Estructura de la pectina

Desde el punto de vista químico, la estructura fundamental de la pectina comprende moléculas que consisten en al menos el 65% de ácido D-galacturónico, conectadas mediante enlaces glucosídicos α – D. En esta estructura, algunos de los grupos carboxilo pueden estar esterificados con metilos o presentarse en forma de sal. Adicionalmente, la pectina puede encontrarse asociada a otros carbohidratos, especialmente con la hemicelulosa, en las paredes de los vegetales, desempeñando un papel crucial en la firmeza de ciertos productos. La disolución de los componentes de la pared celular, particularmente la pectina, ha sido vinculada al ablandamiento de varios alimentos.

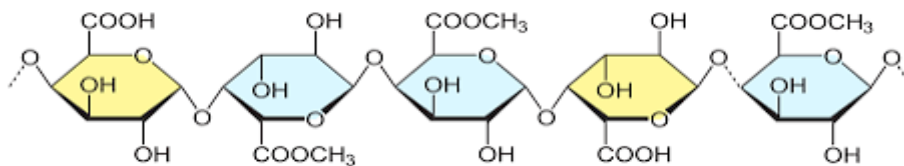


Figura 1: Estructura de la pectina (Jara *et al.*, 2021).

2.1.11. Métodos de extracción de la pectina

Para la extracción de pectinas se hay diferentes métodos como el fisicoquímico, microbiológico y enzimático. Entre las técnicas de extracción comunes se encuentran la extracción por arrastre de vapor, extracción asistida por microondas (EAM) y la extracción por hidrólisis ácida, son ampliamente utilizadas a nivel industrial. Dada la considerable importancia de la pectina en la industria, existe una demanda

creciente de métodos que proporcionen un rendimiento de extracción superior y resulten en productos de alta calidad (Lara *et al.*, 2018).

2.1.12. Proceso de extracción de pectina

2.1.12.1. Hidrolisis ácida asistida por microondas (HMO)

- **Preparación de la materia prima:** Se recolectan las cáscaras de frutas ricas en pectina, como cítricos (naranjas, limones) o manzanas, y se lavan para eliminar impurezas.
- **Corte y secado:** Las cáscaras se cortan en trozos pequeños para aumentar la superficie de contacto y se secan para reducir el contenido de agua.
- **Pretratamiento con ácido:** Los trozos de cáscara se mezclan con una solución ácida, como ácido cítrico o ácido clorhídrico diluido, que ayuda a descomponer la estructura celular y liberar la pectina (Urango *et al.*, 2018).
- **Extracción con microondas:** Los trozos pretratados se colocan en un recipiente adecuado y se someten a irradiación con microondas. La energía de las microondas calienta rápidamente la mezcla, lo que acelera la ruptura de las células y la liberación de pectina.
- **Filtración:** La mezcla se filtra para separar el líquido que contiene la pectina de los sólidos no deseados, como las fibras de la cáscara.
- **Purificación:** El líquido filtrado se trata con alcohol para precipitar la pectina. La pectina precipitada se separa por centrifugación o filtración.
- **Secado:** La pectina se seca para eliminar el exceso de humedad y obtener un producto en polvo listo para su uso (Urango *et al.*, 2018).

2.1.12.2. Hidrólisis ácida convencional

- **Preparación de la materia prima:** Se recolectan las cáscaras de frutas o vegetales ricas en pectina y se lavan para eliminar impurezas.
- **Corte y secado:** Las cáscaras se cortan en trozos pequeños y se secan para reducir el contenido de agua.
- **Hidrólisis ácida:** Los trozos de cáscara se mezclan con una solución ácida, como ácido cítrico o ácido clorhídrico diluido, y se calientan a una temperatura controlada durante un tiempo de 60 min determinado. El ácido descompone la estructura celular y libera la pectina en forma soluble en agua (Devia, 2018).
- **Filtración:** La mezcla se filtra para separar el líquido que contiene la pectina de los sólidos no deseados.
- **Precipitación y lavado de la pectina:** Se añade alcohol a la solución filtrada para precipitar la pectina. La pectina precipitada se separa por centrifugación o filtración.
- **Secado:** La pectina se seca para eliminar el exceso de alcohol y obtener un producto en polvo (Devia, 2018).

2.1.12.3. Hidrolisis enzimática

- **Pretratamiento de la materia prima:** Las cáscaras de frutas y vegetales se recolectan y se someten a un pretratamiento que incluye lavado y trituración para obtener un tamaño de partícula adecuado.

- **Extracción enzimática:** Las cáscaras trituradas se mezclan con una solución enzimática que contiene enzimas pectinolíticas, como pectinasas, poligalacturonasas o pectinesterasas. Estas enzimas descomponen la estructura de la pectina, liberando moléculas de pectina solubles en agua.
- **Reacción enzimática controlada:** La mezcla se incubada a una temperatura 40°C y 60°C y pH 3 y 5 específicos durante un tiempo determinado de 120 min para permitir que las enzimas actúen sobre la pectina de manera óptima (Morales, 2019).
- **Inactivación enzimática:** Una vez completada la reacción enzimática, se detiene la actividad enzimática mediante calentamiento o cambios en el pH para evitar la sobrehidrólisis de la pectina.
- **Filtración:** La mezcla se filtra para separar el líquido que contiene la pectina enzimáticamente hidrolizada de los sólidos no deseados.
- **Precipitación de la pectina:** Se añade 1ml de alcohol a la solución filtrada para precipitar la pectina. La pectina precipitada se separa por centrifugación o filtración.
- **Lavado y secado:** La pectina precipitada se lava con alcohol para eliminar impurezas y residuos enzimáticos. Luego se seca para obtener un producto en polvo (Morales, 2019).

2.1.12.4. Hidrolisis ácida

- **Pretratamiento de la materia prima:** Las cáscaras de frutas y vegetales se recolectan y se someten a un pretratamiento que puede incluir lavado y trituración para obtener un tamaño de partícula adecuado.
- **Extracción ácida:** Las cáscaras trituradas se mezclan con una solución ácida, generalmente ácido clorhídrico o ácido cítrico, y se calientan a una temperatura específica, típicamente entre 70°C y 100°C, durante un tiempo determinado. El ácido descompone la estructura de la pectina, liberando moléculas de pectina solubles en agua (Jiménez *et al.*, 2019).
- **Filtración:** La mezcla se filtra para separar el líquido que contiene la pectina hidrolizada de los sólidos no deseados.
- **Precipitación de la pectina:** Se añade alcohol, generalmente etanol, a la solución filtrada para precipitar la pectina. La pectina precipitada se separa por centrifugación o filtración.
- **Lavado y secado:** La pectina precipitada se lava con alcohol para eliminar impurezas y residuos ácidos. Luego se seca para obtener un producto en polvo (Jiménez *et al.*, 2019).

2.1.13. Residuos con mayor grado de pectina y métodos de extracción

Tabla 1: Residuos con mayor grado de pectina y métodos de extracción.

Residuo Vegetal	Técnica de extracción	Método de extracción	Referencias	Características
-----------------	-----------------------	----------------------	-------------	-----------------

Cáscara de naranja	Fisicoquímico	Extracción por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO)	(Zegada 2018)	En este método no se obtiene un alto contenido de pectina, lleva tiempos más cortos, pero se consume energía con mayor magnitud.
Cáscara de naranja	Fisicoquímico	Hidrólisis ácida convencional	(Zegada 2018)	En este método se emplea tiempos más largos y consumo de energía más alto, aunque se obtiene un porcentaje óptimo de pectina.
Cáscara de limón	Enzimática	Hidrólisis Enzimática	(Maidana <i>et al.</i> , 2019)	Este método es eficaz, se obtiene rendimientos más altos en tiempos moderados y se obtiene una pectina con grado de esterificación alta.
Cáscara de manzana	Fisicoquímico	Hidrólisis ácida	(Kumar <i>et al.</i> , 2020)	Este método produce altos rendimientos en un tiempo relativamente corto, puede llevarse a cabo a temperatura ambiente o ligeramente elevada, lo que reduce los costos de energía en comparación con otros métodos de extracción.

En la tabla 1 se puede observar los diferentes residuos vegetales con mayor grado de pectina y métodos de extracción.

En el estudio de Zegada (2018), se utilizó la técnica de extracción fisicoquímica donde se examinó la cáscara de naranja, resaltando la eficiencia de la hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO) en términos de ahorro energético, aunque se señala que no logra obtener un porcentaje óptimo de pectina. En otro estudio por el mismo

autor destaca la hidrólisis convencional emplea tiempos más largos y consumo de energía más alto y que no se obtiene un porcentaje alto de pectina.

En el estudio realizado por Maidana *et al.* (2019), se encontró que la hidrólisis enzimática de la cáscara de limón fue un método eficaz para la extracción de pectina. Este método permitió obtener rendimientos más altos en tiempos moderados y produjo una pectina con un grado de esterificación alta. Estos resultados sugieren que la hidrólisis enzimática es un proceso eficiente y adecuado para la obtención de pectina de alta calidad a partir de la cáscara de limón.

En el estudio de Kumar *et al.* (2020), menciona que este método permitió obtener altos rendimientos en un tiempo relativamente corto y pudo llevarse a cabo a temperatura ambiente o ligeramente elevada, lo que redujo los costos de energía en comparación con otros métodos de extracción. Estos resultados sugieren que la hidrólisis ácida es un proceso eficiente y económico para la extracción de pectina de la cáscara de manzana.

2.1.14. Aplicaciones Industriales

Tabla 2: Aplicaciones industriales.

Tipo de industria	Residuo Vegetal	Referencia	Aplicación
Industria alimentaria	Pectina extraída de la cáscara de naranja	(Ramírez <i>et al.</i> 2020)	Estabilizador, emulsionante, gelificante, texturizador y espesante.
Industria farmacéutica	Pectina extraída de la cáscara de naranja	(Frosi <i>et al.</i> , 2023)	Coagulante y emulsificante

Industria alimentaria	Pectina extraída de la cáscara de limón	(Ibarra <i>et al.</i> , 2022)	Agentes gelificantes y espesantes en la producción de mermeladas, jaleas, yogures y productos lácteos.
Industria alimentaria	Pectina extraída de la cáscara de manzana	(Azkarate, 2019)	Agente gelificante en la elaboración de mermeladas y Pâte de Fruits (gominolas)
Industria alimentaria	Pectina extraída de la cáscara de limón	(Ortega <i>et al.</i> , 2022)	La pectina forme un gel rápidamente a altas temperaturas, teniendo una acción más efectiva en el perfil lipídico, por tanto, se pueden emplear como aditivo en la industria de los alimentos.
Industria del biocombustible	Pectina extraída de la cáscara de manzana	(Ampese <i>et al.</i> , 2022)	Biogás
Industria alimenticia	Pectina extraída de la cáscara de naranja	(Preciado <i>et al.</i> 2022)	Alimentos enriquecidos con antioxidantes, como compuestos fenólicos, carotenoides y fibra dietaria.

En la tabla 2 se puede observar las aplicaciones industriales de los diferentes residuos vegetales.

En el estudio de Ramírez *et al* (2020), a partir de pectina extraída de la cáscara de naranja se destaca su aplicación en la industria alimentaria como espesante, estabilizador, gelificante, texturizador y emulsionante, que se utilizan para mejorar la

textura, estabilidad y consistencia de productos como mermeladas, salsas y productos lácteos.

En el estudio de Frosi *et al* (2023), a partir de pectina extraída de la cáscara de naranja se destaca su aplicación en la industria farmacéutica como coagulante y emulsificante, para la formulación de medicamentos o productos farmacéuticos.

En el estudio de Wong *et al* (2020) y Ávila *et al* (2020), a partir de pectina extraída de la cáscara de naranja y cascarilla de cacao se destaca su aplicación en la industria de combustibles renovables en la producción de biocombustibles como el bioetanol y biogás, mostrando un enfoque sostenible en la industria de energía renovable.

Los resultados presentados por Ibarra *et al.* (2022) sugieren que la pectina extraída de la cáscara de limón se utiliza como agente gelificante y espesante en la producción de mermeladas, jaleas, yogures y productos lácteos. Esta aplicación es común para las pectinas de alta metoxilación debido a su capacidad para formar geles firmes y estables.

Por otro lado, Azkarate (2019) menciona que la pectina extraída de la cáscara de manzana se utiliza como agente gelificante en la elaboración de mermeladas y Pâte de Fruits (gominolas). Esto sugiere que la pectina de manzana también es adecuada para la producción de productos alimenticios con texturas gelificadas.

Ortega *et al.* (2022) indican que la pectina extraída de la cáscara de limón tiene la capacidad de formar geles rápidamente a altas temperaturas, lo que la hace útil como aditivo en la industria de alimentos. Este uso sugiere que la pectina de limón puede tener propiedades especiales en términos de gelificación y su interacción con componentes lipídicos en alimentos.

En el caso de Ampese *et al.* (2022), se menciona que la pectina extraída de la cáscara de manzana se utiliza en la producción de biogás en la industria de biocombustibles. Esto sugiere que la pectina de manzana puede tener aplicaciones más allá de la industria alimentaria, en la producción de energía renovable.

Preciado *et al.* (2022) indican que la pectina extraída de la cáscara de naranja se utiliza en alimentos enriquecidos con fibra dietaria y antioxidantes. Esto sugiere que la pectina de naranja puede tener aplicaciones en la producción de alimentos funcionales con propiedades saludables adicionales.

2.1.15. Grado de esterificación de la pectina

La medida de metoxilación indica la esterificación de los grupos carboxilos mediante radicales metilos. Para su gelificación, requieren la presencia de cationes divalentes como el calcio. El contenido de metoxilo puede ser tan bajo como el 14%, y se ha establecido un límite del 7% de contenido de metoxilo (50% de esterificación con metanol) para diferenciar estas categorías de pectina (Urango *et al.*, 2018).

2.2. Marco metodológico

2.3. Tipo de investigación

La siguiente información será de nivel perceptual, es decir tipo exploratorio.

Se realizará una exhaustiva revisión y análisis de criterios de la literatura científica existente de los últimos años sobre el tema planteado

Se analizarán libros, revistas, artículos científicos, tesis de pregrado, tesis de posgrado, páginas web utilizando los siguientes buscadores académicos: PubMed, Science Direct, REDIB, Open Academic Journal, Latindex, Dialnet Web of Science y Scielo. Y gestores bibliográficos como: Mendeley y Zotero.

2.4. Resultados

Resultados de objetivo específico 1

La cáscara de manzana parece ser el residuo vegetal con mayor contenido de pectina, especialmente cuando se utiliza la hidrólisis ácida. Este método produce altos rendimientos en un tiempo relativamente corto, puede llevarse a cabo a temperatura ambiente o ligeramente elevada, lo que reduce los costos de energía en comparación con otros métodos de extracción.

En contraste, la cáscara de naranja, aunque contiene pectina, muestra menor eficiencia con hidrólisis ácida, ya sea asistida por microondas o convencional, que requiere más tiempo y energía. La cáscara de limón también es una fuente viable de pectina, con la hidrólisis enzimática siendo un método económico.

Hay que tener en cuenta que va a depender del método que se utilice para su extracción.

Resultados de objetivo específico 2

La cáscara de naranja es el residuo vegetal más utilizado en aplicaciones industriales de pectina debido a su versatilidad y alto contenido de esta sustancia. La pectina extraída de la cáscara de naranja se utiliza ampliamente en la industria alimentaria como espesante, estabilizador, gelificante, texturizador y emulsionante, mejorando la textura, estabilidad y consistencia de productos como mermeladas, salsas y productos lácteos. Además, la pectina de cáscara de naranja se utiliza en

alimentos enriquecidos con antioxidantes, lo que la hace útil en la producción de alimentos funcionales con propiedades saludables adicionales.

2.5. Discusión de resultados

El tiempo requerido para extraer pectina mediante el método convencional puede oscilar entre 30 y 360 minutos. Sin embargo, para reducir el tiempo de extracción, se puede emplear el método de hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). Según estudio de Zegada (2018), este método ha demostrado obtener resultados satisfactorios en tan solo 15 minutos o menos.

En su artículo de revisión sistemática (García *et al.*, 2023) Menciona que un alto grado de esterificación es importante en las pectinas, ya que determina su capacidad de gelificación, una propiedad muy valorada en la industria. Además, un alto grado de esterificación es beneficioso debido a la alta demanda de este biopolímero. En este contexto, el método de hidrólisis ácida convencional destaca por ofrecer una mayor calidad y rendimiento en la extracción de pectina, lo que parece compensar la prolongación del tiempo de extracción que conlleva este método, lo que concuerda con los estudios de Zegada (2018), Riera *et al.* (2018) y Rodríguez *et al.* (2023).

En su artículo Toyo *et al.* (2023) Describe que la pectina es un componente obtenido de plantas, principalmente de sus frutos, que consiste en una mezcla compleja de polisacáridos estructurales, siendo el ácido galacturónico su componente principal, es ampliamente utilizada en la industria alimentaria como aditivo, gracias a

sus propiedades gelificantes que la hacen ideal para la producción de gelatinas, mermeladas, jaleas, productos lácteos bajos en grasa, entre otros. También se utiliza como espesante, estabilizante de emulsiones, lo que concuerda con González *et al.* (2022).

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

En esta revisión bibliográfica destaca la importancia de la pectina como recurso valioso y sostenible en diversas industrias, incentivando la investigación continua para aprovechar su potencial al máximo, se destaca que se cumplieron con todos los objetivos propuestos a pesar de las limitaciones que se dieron en el proceso investigativo llegando a concluir lo siguiente:

La cáscara de manzana parece ser el residuo vegetal con mayor contenido de pectina, especialmente cuando se utiliza la hidrólisis ácida. Este método de extracción produce altos rendimientos en un tiempo relativamente corto y a temperatura ambiente o ligeramente elevada, lo que reduce los costos de energía en comparación con otros métodos. Por otro lado, la cáscara de naranja, a pesar de contener pectina, muestra menor eficiencia en la extracción con hidrólisis ácida, ya sea asistida por microondas o convencional, requiriendo más tiempo y energía. La cáscara de limón también es una fuente viable de pectina, especialmente con la hidrólisis enzimática, que se destaca por su eficiencia económica.

En cuanto a las aplicaciones industriales, la cáscara de naranja es la más utilizada debido a su versatilidad y alto contenido de pectina. La pectina extraída se utiliza ampliamente en la industria alimentaria como espesante, estabilizador, gelificante, texturizador y emulsionante, mejorando la textura, estabilidad y consistencia de diversos productos. Además, se emplea en alimentos enriquecidos con antioxidantes, lo que la hace valiosa en la producción de alimentos funcionales con propiedades saludables adicionales.

3.2. Recomendaciones

Se recomienda la continuidad en la investigación para explorar nuevas fuentes de residuos vegetales y perfeccionar las técnicas de extracción. Esto permitirá ampliar la variedad de materias primas utilizadas y optimizar aún más los procesos.

Dada la importancia de los parámetros críticos en el proceso de extracción, se sugiere la realización de estudios detallados de optimización para cada fuente de residuo. Ajustar condiciones como pH, proporción del solvente, temperatura y tiempo de extracción específicamente para cada sustrato puede mejorar significativamente el rendimiento.

Se recomienda realizar estudios más detallados sobre cómo el grado de esterificación afecta las propiedades de la pectina. Comprender las implicaciones de la alta y baja metoxilación facilitará la selección precisa de pectinas para aplicaciones específicas en diversas industrias.

Para validar la viabilidad industrial de la pectina extraída, se sugiere realizar estudios piloto y evaluaciones en entornos industriales reales. Esto proporcionará información práctica sobre la eficacia y la adaptabilidad de la pectina en aplicaciones industriales específicas.

Considerando el creciente interés en prácticas sostenibles, se sugiere un enfoque particular en la sostenibilidad ambiental en la producción de pectina. La implementación de procesos ecoamigables y la utilización de residuos agrícolas contribuirán a la ecoeficiencia y la responsabilidad ambiental.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. Referencias bibliográficas

Aguiar, S., Estrella, M. E., & Cabadiana, H. U. (2022). Residuos agroindustriales: Su impacto, manejo y aprovechamiento. *AXIOMA*, 27, Article 27. <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>

Aguiar, S., Uvidia, H., Arboleda, L., Aguiar, S., Uvidia, H., & Arboleda, L. (2021). Aprovechamiento de residuos agroindustriales como alternativa en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Alfa Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinaria*, 5(15), 266-277. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i15.145>

Ampese, L. C., Sganzerla, W. G., Di Domenico Ziero, H., Costa, J. M., Martins, G., & Forster-Carneiro, T. (2022). Valorization of apple pomace for biogas production: A leading anaerobic biorefinery approach for a circular bioeconomy. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03534-6>

Azkarate, M. (2019). *Qué es la pectina y su uso en Mermeladas*. www.gadgetscoina.com. <http://www.gadgetscoina.com/blog/es/blogs/qu-es-la-pectina-y-su-uso-en-mermeladas-83/>

Briones, P. M., Almeida-Streitwieser, D., Fonseca-Ashton, J. D., & 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), Article 2.
<https://doi.org/10.18272/aci.v13i2.2289>

Castulovich, B., & Franco, J. (2018). Efecto de agentes estabilizantes en jugo de piña (Ananas comosus) y coco (cocos nucifera L.) edulcorado. *Prisma Tecnológico*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.33412/pri.v9.1.2063>

Devia Pineda, J. E. (2018). Proceso para producir Pectinas Cítricas. *Revista Universidad EAFIT*, 39(129), 21-29.

Frosi, I., Balduzzi, A., Moretto, G., Colombo, R., & Papetti, A. (2023). Towards Valorization of Food-Waste-Derived Pectin: Recent Advances on Their Characterization and Application. *Molecules*, 28(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/molecules28176390>

García García, P. M., Galindo Alcántara, A., & Ruiz Acosta, S. del C. (2023). Métodos de extracción de pectina en frutos: Revisión sistemática. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(Extra 3 (NEIII (2023))), 14.

Gázquez, J. (2018). *¿Conoces todas las ventajas del aprovechamiento de los restos vegetales?* - *Cajamar Caja Rural*.
<https://www.cajamar.es/es/agroalimentario/innovacion/investigacion/bioeconomia/noticias/aprovechar-los-restos-vegetales-permite-producir-con-menos-insumos/>

González, A. F. R., & Montes, C. F. (2019). Valorización De Residuos De Frutas Para Combustión Y Pirólisis. *Revista Politécnica*, 15(28), 42-53.

Gonzalez, V. R., Numpaque, M. M., & Dias, N. da S. (2022). Pectinas: Extracción, usos e importancia en la agroindustria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 5294-5309. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3498

Gutiérrez-Antonio, C., Lira-Flores, J. A. D., Quiroz-Pérez, E., & Martínez-Guido, S. I. (2020). Conversión de residuos agroindustriales para la generación de biocombustibles, productos de valor agregado y bioenergía. *Digital Ciencia@UAQRO*, 13(1), Article 1.

Ibarra-Egas, J. P., Ordoñez-Villegas, J. A., & Ortiz-Cabrera, I. A. (2022). Obtención de pectina a partir del albedo de maracuyá y limón tahití a través de hidrólisis química. *Boletín Informativo CEI*, 9(2), Article 2.

Izquierdo, M. (2020, abril 14). *RECICLAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y VEGETALES*. Natuyser. <https://natuyser.es/blog/reciclaje-de-residuos-organicos-y-vegetales>

Jara, L. C. R., Moreno, A. M., & Veloz, M. A. L. (2021). Determination of the Gelifying Power of Maracuyá Shell Pectin Extracted in a Medium Acid and Its Application in Desserts. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 1491-1501. <https://doi.org/10.18502/epoch.v1i6.9637>

- Jiménez Islas, D., Abreu Corona, A., López Y López, V. E., Tellez Jurado, A., & Gracida Rodríguez, J. N. (2012). Obtención de azúcares fermentables mediante hidrólisis ácida de Beta vulgaris L. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(2), 151-158.
- Kumar, S., Ozukum, R., & Mathad, G. M. (2020). Extraction, characterization and utilization of pectin from apple peels. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(5), Article 5.
<https://doi.org/10.22271/phyto.2020.v9.i5aj.12736>
- Lara-Espinoza, C., Carvajal-Millán, E., Balandrán-Quintana, R., López-Franco, Y., & Rascón-Chu, A. (2018). Pectin and Pectin-Based Composite Materials: Beyond Food Texture. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 23(4), 942.
<https://doi.org/10.3390/molecules23040942>
- Maidana, S. A., Danovich, C. L., Zubreski, E. R., & Martos, M. A. (2019a). Extracción de pectina a partir de albedo de limón con una Poligalacturonasa de *Wickerhamomyces Anomalous*. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 32, 1-10.
- Maidana, S. A., Danovich, C. L., Zubreski, E. R., & Martos, M. A. (2019b). Extracción de pectina a partir de albedo de limón con una Poligalacturonasa de *Wickerhamomyces Anomalous*. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 32, 1-10.
- Morales, B. M., & Córdoba, M. M. (2019). EVALUACIÓN DE FACTORES QUE PUEDEN INFLUIR EN EL PROCESO DE SACARIFICACIÓN-

FERMENTACIÓN SIMULTÁNEAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE MATERIALES AMILÁCEOS. *Ingeniería*, 25(1), Article 1. <https://doi.org/10.15517/ri.v25i1.14665>

Ocaña Coello, S. P. (2022). *Diseño de una planta de tratamiento de compostaje en pilas estáticas por aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16317>

Ortega-Gasca, S., Hernández-Lorenzo, F., Nava-Zamora, A., Hernández-Castro, H., & Morales-Pablo, R. (2022). Extração de pectina obtida da casca do limão persa (*Citrus latifolia* Tanaka): Extraction of pectin obtained from Persian lime peel (*Citrus latifolia* Tanaka). *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 5(3), 3142-3152. <https://doi.org/10.34188/bjaerv5n3-045>

Preciado-Saldaña, A. M., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M. A., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2), 92.

Ramírez-Gavidia, T. C., González-Colmenares, N. M., & Guerrero-Pernía, E. K. (2020). Pectina de residuos de naranja aplicando el principio de las 3R. *AiBi Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.15649/2346030X.819>

- Rojas-González, A. F., Flórez-Montes, C., & López-Rodríguez, D. F. (2019). Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 30-52.
- Serrat-Díaz, M., Fé-Isaac, Á. D. D. la, Fé-Isaac, J. A. D. la, & Montero-Cabrales, C. (2018). Extracción y caracterización de pectina de pulpa de café de la variedad Robusta. *Revista Cubana de Química*, 30(3), 522-538.
- Tapiero, J., Soleno, R., Marín, Carlos, & Salamanca, G. (2018). *Cinética de la fermentación de hidromiel monofloral elaborada a partir de miel de Acacia mangium Willd colectada en Villanueva, Casanare*. Vol 25(No 40), pag. 43-58.
- Toyo-Díaz, M. J., Toyo-Fernández, B. M., Moreno-Quintero, M. E., Toyo-Díaz, M. J., Toyo-Fernández, B. M., & Moreno-Quintero, M. E. (2023). Extracción de pectina a partir de cáscara de cambur para la producción de una mermelada. *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar*, 5(9), 21-42. <https://doi.org/10.35381/a.g.v5i9.2572>
- Trías, J., Curutchet, A., Arcia, P., & Cozzano, S. (2021). Revalorización del descarte originado por la producción de jugo de manzana como ingrediente funcional en la formulación de premezclas para horneados. *INNOTEC*, 21. <https://www.redalyc.org/journal/6061/606164861002/html/>
- Urango-Anaya, K. J., Ortega-Quintana, F. A., Vélez-Hernández, G., Pérez-Sierra, Ó. A., Urango-Anaya, K. J., Ortega-Quintana, F. A., Vélez-Hernández, G., &

Pérez-Sierra, Ó. A. (2018). Extracción Rápida de Pectina a Partir de Cáscara de Maracuyá (*Passiflora edulis flavicarpa*) empleando Microondas. *Información tecnológica*, 29(1), 129-136. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000100129>

Vargas Corredor, Y. A., & Pérez Pérez, L. I. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 3.

Vargas, M. de L. V. y Brito, H. F., Cortez, J. A. T., López, V. M. T., & Huchin, V. M. M. (2019). Aprovechamiento de cáscaras de frutas: Análisis nutricional y compuestos bioactivos. *CIENCIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 26(2). <https://www.redalyc.org/journal/104/10458194006/html/>

Zegada Franco, V. Y. (2018). EXTRACCIÓN DE PECTINA DE RESIDUOS DE CÁSCARA DE NARANJA POR HIDRÓLISIS ÁCIDA ASISTIDA POR MICROONDAS (HMO). *Investigación & Desarrollo*, 1(15), 65-76.

4.2. ANEXOS



Anexo 1: Pectina procesada



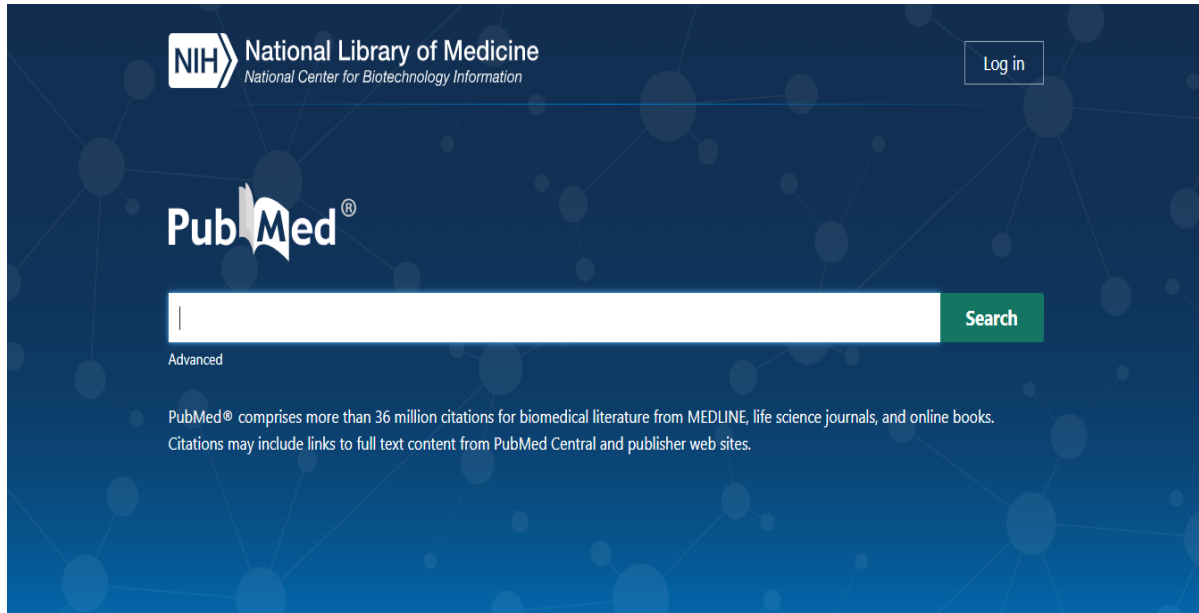
Anexo 2: Equipos para extraer la pectina



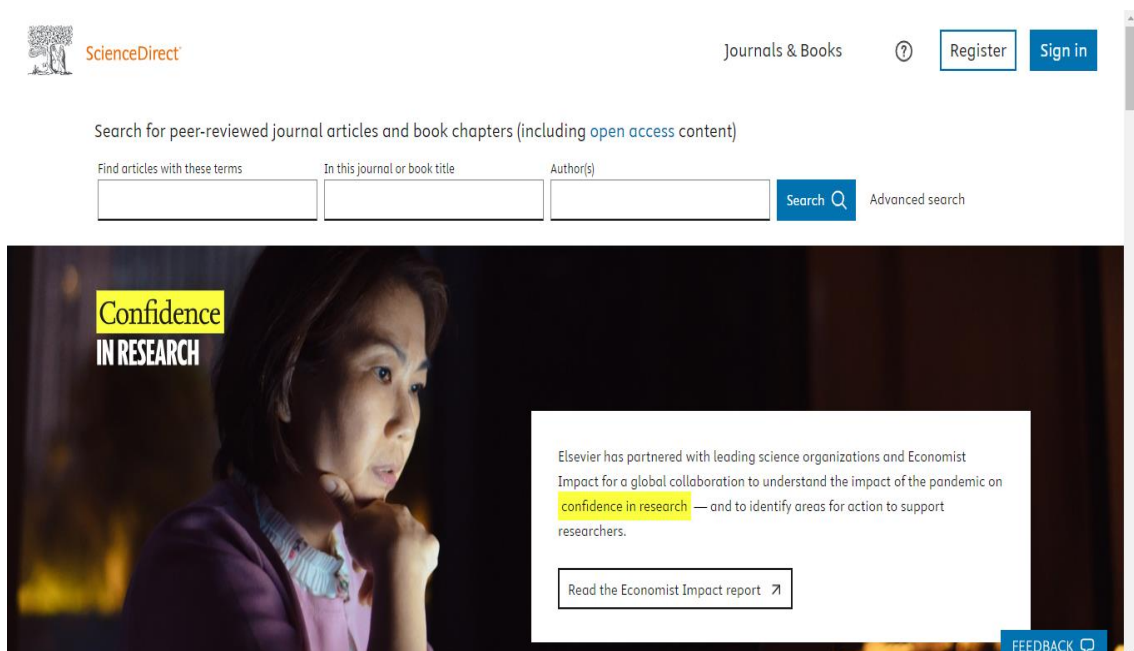
Anexo 3: Extracción asistida por microondas



Anexo 4: Hidrolisis acida convencional



Anexo 5: Base de datos de Pub Med.



Anexo 6: Base de datos de Science Direct.