

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



**“PECTINA DE CÁSCARA DE SANDÍA: EXTRACCIÓN, CARACTERIZACIÓN Y
PROPIEDADES EMULSIFICANTES”**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS

PRESENTA
OLIVIA FLORES PEÑALOZA

DIRECTORA
DRA. MÓNICA CARRILLO BELTRÁN

Mexicali, B. C., diciembre de 2022

Resumen

La pectina de la cáscara de sandía (PCS) presenta propiedades emulsificantes, sin embargo, su comportamiento en presencia de otros componentes emulsificantes no ha sido reportado, así como tampoco sus propiedades en emulsiones producidas por un método distinto al de homogenización a alta presión. En este trabajo se determinó el mecanismo de interacción de la PCS con otro emulsificante (Tween 80) en la producción de una emulsión. Asimismo, se caracterizó la pectina extraída y se evaluó su capacidad como emulsificador único. La pectina fue extraída con HCl 0.1 M, a 80°C por 60 min. El grado de esterificación (DE) y contenido de metoxilos (MeO) de la pectina se determinó con el método de titulación y el peso molecular (pM) viscosimétrico con la ecuación de Mark Houwink-Sakura. Las emulsiones O/W se prepararon con la técnica de titulación con agua empleando distintas proporciones de aceite de canola, pectina de sandía (2% p/v) y Tween 80. El tamaño de la partícula y potencial ζ fueron determinados por medio de la técnica de dispersión dinámica de la luz (DSL). La PCS tuvo un DE $70.02 \pm 2.8\%$, MeO $11.43 \pm 0.36\%$ y pM de 30,093.41 g/mol. Las emulsiones preparadas con pectina como único emulsificante fueron inestables. En cambio, la pectina como co-emulsificante formó emulsiones moderadamente estables. Las pruebas de DSL mostraron que al aumentar la concentración de pectina, aumentó el tamaño de la micela, así como la polaridad negativa, lo cual sugiere que la pectina fue parcialmente adsorbida en la interface O/W. Se determinó que la formulación 1% (v/v) de aceite, 3% (v/v) de pectina y 9% (v/v) de Tween 80 (potencial ζ -39.3 mV y diámetro de 8.61 nm) fue la concentración que saturó la interfase O/W. Esta investigación demuestra que la PCS reduce la concentración de Tween 80 en emulsiones formadas con un método de baja energía, situación favorable para reemplazar ingredientes de origen sintético por naturales.

Abstract

Watermelon rind pectin (WRP) has emulsifying properties; however, its behavior in the presence of other emulsifying components has not been reported, nor has its properties in emulsions produced by a method other than high-pressure homogenization. In this work, the interaction mechanism of WRP with another emulsifier (Tween 80) in the production of an emulsion will be developed. Likewise, the extracted pectin was characterized and its capacity as a unique emulsifier was evaluated. The pectin was extracted with HCl 0.1 M, at 80°C for 60 min. The degree of esterification (DE) and methoxyl content (MeO) of the pectin was determined with the titration method and the viscometric molecular weight (Mw) with the Mark Houwink-Sakura formula. The O/W emulsions were prepared with the water titration technique using different proportions of canola oil, watermelon pectin (2% w/v) and Tween 80. The particle size and the ζ potential were determined by means of the dynamic scattering of light (DSL) technique. The WRP had a DE of $70.02 \pm 2.8\%$, MeO $11.43 \pm 0.36\%$ and Mw of 30,093.41 g/mol. Emulsions prepared with pectin as the only emulsifier were unstable. Instead, pectin as a coemulsifier formed moderately stable emulsions. The DSL tests showed that as the pectin concentration increased, the size of the micelle increased, as well as the negative polarity, which suggests that the pectin was partially adsorbed at the O/W interface. It is concluded that the formulation 1% (v/v) of oil, 3% (v/v) of pectin and 9% (v/v) of Tween 80 (ζ potential -39.3 mV and diameter of 8.61 nm) was the concentration which saturated the O/W interface. This research shows that WRP reduces the concentration of Tween 80 in emulsions formed with a low energy method, a favorable situation to replace ingredients of synthetic origin with natural ones.

A mi esposo Benjamín, mi hijo Benji y mi hija Isabella[‡]

Agradecimientos

Quiero dar mi más sincero agradecimiento:

A mi directora de tesis, Dra. Mónica Carrillo Beltrán por todo su apoyo en la realización de este trabajo, por toda su ayuda y enseñanzas.

A mis compañeros de laboratorio Kristel Angulo, Ivone Michel Wong y Jorge Salvador por su ayuda, ánimos y consejos que me ayudaron en el proceso de investigación.

Al Dr. Roumen Zlatev, Dra. Margarita Stilianova Stoytchevam Dr. Conrado García y Dr. Benjamín Valdéz por permitirme utilizar los equipos de su laboratorio y por sus atenciones. A la Dra. Elizabeth Ramírez por su dedicación y paciencia que mostró en su asignatura para instruirnos a desarrollar el pensamiento analítico y crítico.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la concesión de la beca 715032 para la realización de esta investigación.

Índice

Capítulo 1 - Introducción	10
1.1 Planteamiento del problema	10
1.2 Preguntas de investigación	11
1.3 Objetivos	12
1.4 Justificación e Importancia.....	13
1.5 Limitaciones	13
Capítulo 2 - Marco Teórico	15
2.1 Emulsiones	15
2.1.1 Aspectos generales	15
2.1.2 Emulsificación	16
2.1.3 Emulsificantes.....	19
2.1.4 Mecanismos de desestabilización de emulsiones	22
2.1.5 Técnicas de caracterización de emulsiones	23
2.2 Pectinas	25
2.2.1 Aspectos generales.....	25
2.2.2 Estructura de la pectina y su papel en la actividad interfacial	25
2.2.3 Métodos de extracción de pectinas	28
Capítulo 3 – Metodología.....	30
3.1 Materiales.....	30
3.2 Pretratamiento de la cáscara de sandía.	30
3.3 Extracción y Caracterización de Pectina.....	32
3.3.1 Extracción ácida de pectina	32
3.3.2 Porcentaje de Rendimiento.....	33
3.3.3 Determinación de grado de esterificación y contenido de metoxilos.	33
3.3.4 Viscosidad intrínseca y peso molecular viscosimétrico.....	35
3.3.5 Espectro infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR)	36
3.3.6 Cenizas	37
3.4 Preparación de emulsiones	37
3.4.1 Emulsiones con polisacáridos como emulsificantes.	37
3.4.2 Emulsiones con Tween 80	38
3.4.3 Emulsiones con pectina de cáscara de sandía y Tween 80	38

3.4.4 Caracterización de las emulsiones	40
Capítulo 4 - Resultados	41
4.1 Extracción de pectina de cáscara de sandía	41
4.2 Caracterización de la pectina de cáscara de sandía	42
4.2.1 Peso molecular viscosimétrico de la pectina.	43
4.2.2 Espectro FT-IR de la pectina de cáscara de sandía.	45
4.2.3 Contenido de cenizas.....	47
4.3 Propiedades emulsificantes de pectina de cáscara de sandía.	47
4.3.1 Emulsiones con pectina de cáscara de sandía.	47
4.3.2 Emulsiones con Tween 80.....	51
4.3.3 Emulsiones con pectina de sandía, Tween 80 y aceite de canola.	52
Capítulo 5 – Conclusiones.....	57
Referencias	59
Anexos.....	63
A1 – Actividades descartadas	63
A2 – Divulgación	80
A3 – Certificados y Constancias	83

Lista de Tablas

Tabla 1. Relación del potencial Zeta con la estabilidad de emulsiones.	24
Tabla 2. Condiciones de extracción y propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de cáscara de sandía por el método convencional.	29
Tabla 3. Extracción de pectina de cáscara de sandía	32
Tabla 4. Formulación de emulsiones con polisacáridos.....	37
Tabla 5 Composición de emulsiones preparadas con aceite de canola y Tween 80.....	38
Tabla 6. Formulación de emulsiones Tween 80, pectina de sandía y aceite de canola.	39
Tabla 7. Rendimiento en la extracción ácida de pectina.	41
Tabla 8. Grado de esterificación y contenido de metoxilo de la pectina.	42
Tabla 9. Medidas viscosimétricas de la pectina extraída con ácido cítrico (AC) y ácido clorhídrico (HCl).....	43
Tabla 10. Resultados de la inspección visual de emulsiones con polisacáridos como emulsificantes.	48
Tabla 11. Potencial Z de emulsiones preparadas con pectina de sandía.	51

Tabla 12. Formulación de emulsiones con pectina de sandía y Tween 80.	52
Tabla 13. Resultados de la prueba de potencial Z de emulsiones Tween80-pectina.	54

Lista de Figuras

Figura 1. Efecto del equipo de alta energía sobre el tamaño de la gota.	17
Figura 2. Representación del método de titulación con agua y la inversión de fases.	18
Figura 3. Estructura de emulsificantes de molécula pequeña.	20
Figura 4. Mecanismos de desestabilización en emulsiones	22
Figura 5. Estructuras de pectinas con un alto (DE 75) y bajo grado de esterificación (DE 25).	26
Figura 6. Estructura general de la pectina.	27
Figura 7. Pretratamiento de la cáscara de sandía.	31
Figura 8. Proceso de extracción ácida de pectina de cáscara de sandía.	33
Figura 9. Titulación potenciométrica de pectina extraída de la cáscara de sandía.	34
Figura 10. Determinación de viscosidad intrínseca de la pectina.	35
Figura 11. Elaboración de emulsiones por el método de titulación con agua.	39
Figura 12. Curvas de Viscosidad Reducida $[\eta_{red}]$ vs Concentración para determinar la viscosidad intrínseca de las pectinas extraídas con ácido cítrico y ácido clorhídrico.	45
Figura 13. Espectro infrarrojo de la pectina extraída de la cáscara de sandía.	46
Figura 14. Comparación de emulsiones preparadas con goma arábica, pectina cítrica comercial y pectina de sandía.	49
Figura 15. Floculación y coalescencia en emulsiones con pectina de sandía.	50
Figura 16. Apariencia macroscópica de emulsiones con aceite de canola y Tween 80.	52
Figura 17. Emulsiones con pectina de sandía y Tween 80.	53
Figura 18. Representación de micela formada con aceite, Tween 80 y pectina.	55

Capítulo 1 - Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Las emulsiones son ampliamente utilizadas en la elaboración de productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos, principalmente del tipo aceite en agua (Bai et al., 2017). La apariencia, textura, color, sabor, viscosidad, son algunas de las propiedades apreciadas en estos productos y pueden verse afectadas por la inestabilidad termodinámica de la emulsión. Ésta provoca que el tamaño de la partícula de la fase dispersa crezca continuamente con el tiempo induciendo la separación de las fases. Mediante la aplicación de emulsificantes y espesantes, las emulsiones se estabilizan cinéticamente por un determinado periodo de tiempo. Los emulsificantes reducen la tensión interfacial del sistema y los espesantes aumentan la viscosidad de la fase acuosa reduciendo así la movilidad de las gotas de aceite (Badolato et al., 2008). Existen diversas sustancias que cumplen con el propósito de proporcionar estabilidad a las emulsiones; sin embargo, la creciente demanda por productos de origen natural ha llevado a buscar fuentes alternas de emulsificantes y espesantes.

La pectina es el segundo polisacárido más abundante de las plantas, un aditivo (E440) ampliamente utilizado en la industria alimenticia por sus propiedades gelificantes y estabilizantes. Es obtenida a partir de subproductos de la industria del jugo, principalmente de las cáscaras de cítricos y pulpa de manzana. Actualmente, ha crecido el interés de estudiar su papel como agente emulsificante. Se ha determinado que las propiedades emulsionantes de la pectina se deben principalmente a los restos hidrófobos en su estructura, como son los grupos metoxilo y acetilo, cuya abundancia depende en gran medida de la fuente de biomasa y las condiciones de extracción. Además, la presencia de proteínas, grado de esterificación y

masa molecular influyen en el balance de las regiones hidrofílicas e hidrofóbicas de la molécula y, por tanto, en las propiedades emulsificantes de la pectina. Sin embargo, no todas las pectinas son aptas para formar emulsiones estables, su estructura debe contener al menos 3% de proteínas (Alba & Kontogiorgos, 2020) como es el caso de la pectina de remolacha azucarera. El inconveniente de esta fuente es su limitada disponibilidad como materia prima lo que genera bajos rendimientos de producción industrial. Por esta razón, actualmente se realizan estudios para encontrar nuevas fuentes de pectinas formadoras de emulsiones estables cuya disponibilidad no esté comprometida.

Recientes investigaciones han determinado que la pectina extraída de la cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*) presenta propiedades emulsificantes similares a las de la goma arábiga (Petkowicz et al., 2017), a la pectina cítrica y a la de manzana (Mendez et al., 2021). Considerando que fue el segundo fruto más cultivado a nivel mundial durante 2019 con una producción de 100.41 millones de toneladas (FAO, 2021) y que la cáscara de sandía representa aproximadamente un tercio de la masa total de la fruta, su disponibilidad como materia prima no está comprometida. Sin embargo, el comportamiento de la pectina de la cáscara de sandía en presencia de otros componentes emulsificantes no ha sido reportado, así como tampoco sus propiedades en emulsiones producidas por un método distinto al de homogenización a alta presión como el de titulación con agua, una técnica de baja energía basada en la formación espontánea de la emulsión, lo que también amerita ser estudiado para tener mayor información sobre sus posibles aplicaciones industriales.

1.2 Preguntas de investigación

Para poder proporcionar información sobre el comportamiento de la pectina extraída de la cáscara de sandía en presencia de otros componentes emulsificantes, así como sus

propiedades en emulsiones preparadas con un método de baja energía, se formularon las siguientes preguntas de investigación:

Pregunta de Investigación General:

¿Cómo interactúa la pectina extraída de la cáscara de sandía con otro emulsificante en la producción de una emulsión?

Preguntas de Investigación Específicas:

- A. ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la pectina obtenida de la cáscara de sandía por medio de extracción ácida?
- B. ¿Cuál es la capacidad de emulsificación de la pectina extraída de la cáscara de sandía en una emulsión formada con el método de titulación con agua?
- C. ¿Cuáles son las propiedades de una emulsión formada con pectina de cáscara de sandía y un emulsificante no iónico (Tween 80)?

1.3 Objetivos

Objetivo General:

Determinar el mecanismo de interacción de la pectina extraída de la cáscara de sandía con otro emulsificante en la producción de una emulsión.

Objetivos Específicos:

- A. Determinar las características fisicoquímicas de la pectina obtenida de la cáscara de sandía por medio de extracción ácida.

- B. Evaluar la capacidad de emulsificación de la pectina extraída de la cáscara de sandía.
- C. Determinar las propiedades de una emulsión formada con pectina de cáscara de sandía y un emulsificante no iónico (Tween 80).

1.4 Justificación e Importancia

La pectina extraída de la cáscara de sandía puede presentar propiedades emulsionantes similares a la pectina cítrica o de manzana. Sin embargo, estas similitudes fueron determinadas al estudiar emulsiones preparadas con un método de alta energía, el cual rompe las gotas de aceite hasta reducir su tamaño a la escala nanométrica. Se desconoce si la pectina de cáscara de sandía presenta la capacidad de formar emulsiones estables bajo un método de baja energía, como el de emulsificación espontánea. Además, su comportamiento al interactuar con otros emulsificantes aún no ha sido documentado.

Los resultados de la presente investigación contribuyen a obtener una comprensión más profunda sobre las propiedades emulsionantes de la pectina de cáscara de sandía para determinar las posibles aplicaciones industriales.

1.5 Limitaciones

Las propiedades emulsificantes de la pectina de cáscara de sandía se evaluaron en emulsiones tipo aceite-agua (O/W) preparadas con el método de titulación con agua, una técnica considerada de baja energía y ampliamente utilizada en la elaboración de microemulsiones y nanoemulsiones. Para estudiar su interacción con otros componentes de la emulsión, se empleó un emulsificante sintético no iónico (Tween 80).

Con el fin de estudiar las propiedades emulsionantes de la pectina de cáscara de sandía, esta tesis se construye de la siguiente manera:

Capítulo 2 – Marco Teórico. Abordará los temas centrales de esta investigación. Iniciará con el tema de las emulsiones donde se brindará una breve descripción del proceso de emulsificación por el método de titulación con agua, el papel de los emulsionantes en la formación y estabilización de las emulsiones, así como los mecanismos de desestabilización. Continuará con la revisión de la estructura molecular de la pectina para comprender sus propiedades emulsificantes, describiendo el comportamiento de los hidrocoloides en solución y en las interfases aceite-agua.

Capítulo 3 – Metodología. Descripción de las técnicas y procedimientos empleados para estudiar las propiedades emulsificantes de la pectina de cáscara de sandía, iniciando con el proceso de extracción, seguido de las pruebas de caracterización y finalizando con el método de elaboración de emulsiones.

Capítulo 4 – Resultados. Reporta los hallazgos sobre las propiedades emulsificantes de la pectina de sandía en presencia de otro emulsificante. Además, se presentan los rendimientos de extracción de la pectina y los resultados de las pruebas de caracterización. También incluye una discusión sobre los resultados obtenidos.

Capítulo 5 – Conclusiones. Se establece si se lograron los objetivos de la investigación, así como ideas para estudios adicionales.

Capítulo 2 - Marco Teórico

2.1 Emulsiones

2.1.1 Aspectos generales

Una emulsión es un sistema compuesto por dos líquidos inmiscibles entre sí, uno de los cuales está disperso en forma de pequeñas gotas (fase dispersa) en el otro (fase continua) (Hosseini et al., 2015). Dependiendo de la polaridad de los componentes de las fases, las emulsiones pueden ser clasificadas como de aceite en agua (O/W), si el aceite está disperso en el agua; agua en aceite (W/O), si el agua es quien está dispersa en el aceite; agua-aceite-agua (W/O/W) o aceite-agua-aceite (W/O/W). Además, según las propiedades de las emulsiones, éstas se clasifican en macroemulsiones, microemulsiones y nanoemulsiones (Kale & Deore, 2016).

Las emulsiones son ampliamente utilizadas en la elaboración de productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos. La apariencia, textura, color, sabor, viscosidad, son algunas de las propiedades apreciadas en estos productos y pueden verse afectadas por la inestabilidad termodinámica de la emulsión. Ésta provoca que el tamaño de la partícula de la fase dispersa crezca continuamente con el tiempo induciendo la separación de las fases.

La causa de la inestabilidad física de la emulsión se debe a la tendencia del sistema disperso a reducir su energía libre de Gibbs. El total diferencial de la energía libre de Gibbs en una emulsión se determina con la Ecuación (1):

$$dG = Vdp - SdT + \sum_k \mu_k dn_k + \sigma dA \quad (1)$$

Donde V es el volumen, p la presión, S la entropía, T la temperatura, μ es el potencial químico de los componentes individuales k, n es la cantidad de componentes, σ es la tensión interfacial y A es el área interfacial (McClements, 2004). Con la ecuación anterior se

determina que, para una tensión interfacial dada en un sistema, la energía libre de Gibbs es mayor cuanto más área interfacial exista. Debido a que las gotas están finamente dispersas en las emulsiones, éstas presentan un área interfacial grande y, por tanto, su deseo de minimizar esta región también lo es provocando la inestabilidad del sistema.

Una manera de reducir la energía libre de Gibbs de la emulsión es disminuir la tensión interfacial y esto se logra comúnmente con la adición de emulsionantes, también llamados tensioactivos. Los emulsionantes son sustancias activas de superficie que se adsorben en la interfase aceite-agua debido a su naturaleza anfifílica (Badolato et al., 2008). Además de los emulsionantes, en una emulsión se pueden agregar estabilizadores. Son sustancias que brindan estabilidad en el sistema al reducir la movilidad de las gotas dispersas al aumentar la viscosidad de la fase continua, por esta razón se les consideran como no activas en la superficie (McClements & Jafari, 2018).

2.1.2 Emulsificación

Para producir una emulsión, se debe crear una nueva interfaz entre la fase de aceite y agua mediante la introducción de trabajo en el sistema. Esto puede lograrse a través de métodos de “alta energía” o “baja energía”. En la presente investigación se trabajó con un método de baja energía debido a que en otros estudios (Mendez et al., 2021; Petkowicz et al., 2017) evaluaron las propiedades emulsificantes de la pectina de cáscara de sandía con métodos de alta energía. Por tal motivo, solo se dio una breve descripción de este último método.

Los medios mecánicos son conocidos como de “alta energía” por utilizar dispositivos específicos (ej. homogeneizadores de alta presión) capaces de proporcionar la energía

necesaria para aumentar el área interfacial agua/aceite y así generar gotas micrométricas o nanométricas (Fig. 1). Este método es empleado comúnmente en la industria alimenticia y cosmética en la elaboración de emulsiones pero presenta la desventaja de emplear equipos costosos propensos a problemas mecánicos (Mayer et al., 2013).

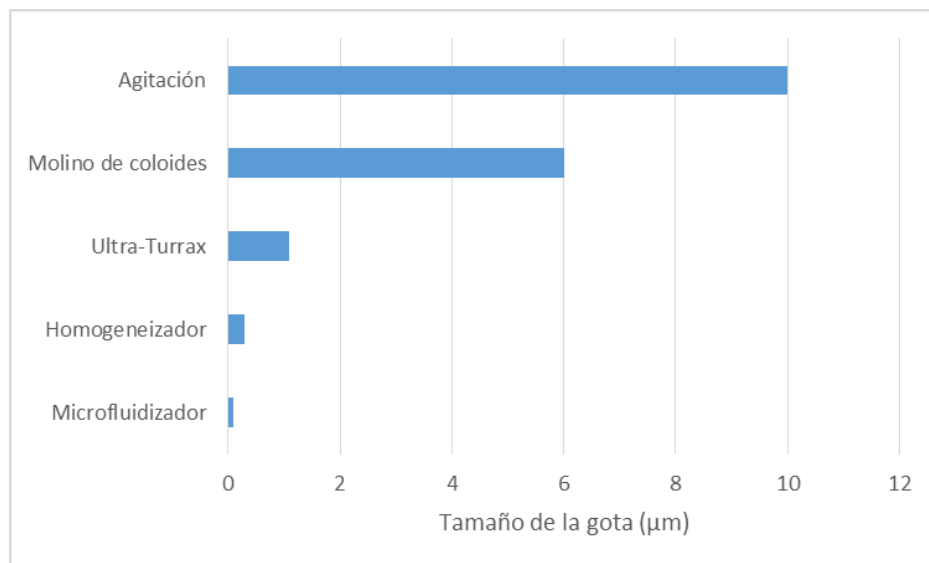


Figura 1. Efecto del equipo de alta energía sobre el tamaño de la gota.
Fuente: Bullon et al., 2007.

Los métodos de baja energía producen emulsiones sin necesidad de ningún dispositivo especializado, se pueden realizar empleando agitación magnética simple con o sin calentamiento. Estos métodos aprovechan las propiedades fisicoquímicas de los emulsificantes para disminuir la tensión interfacial y así generar gotas nanométricas espontáneamente. Algunos de los métodos de baja energía consisten en inversiones de las fases, esto consiste en la conversión de una emulsión aceite en agua (O/W) en una emulsión agua en aceite (W/O) o viceversa. Los enfoques de inversión de fases incluyen la temperatura de inversión de fase (PIT), composición de inversión de fase (PIC) y la inversión de fase catastrófica (CPI) (Adena et al., 2021). En la presente investigación se utilizó el método de inversión de fase catastrófica y de aquí en adelante, sólo se hará referencia a este proceso.

El proceso de CPI utiliza la técnica de titulación con agua (Figura 2), también llamada titulación de fases. Consiste en mezclar dos fases líquidas, una lipófila y otra hidrófila con agitación constante a temperatura ambiente. Primero se prepara la fase lipófila en la que se mezcla el componente lipófilo (ej. aceite) con uno o varios emulsificantes (ej. Tween 80). Posteriormente, se agrega la fase hidrófila, como el agua destilada. Al ponerse las dos fases en contacto, los componentes hidrófilos del emulsificante se solubilizan rápidamente en la fase acuosa, induciendo la separación del aceite. A medida de que incrementa la cantidad de agua, el sistema pasa de una emulsión agua-aceite (W/O) a una emulsión múltiple (O/W/O) para terminar en una emulsión aceite-agua (O/W) (Mayer et al., 2013). La emulsión final es monofásica donde el tamaño de la partícula oscila entre 1 a 100 nm, clasificándolas como microemulsiones o nanoemulsiones. La diferencia entre ellas radica en sus propiedades fisicoquímicas que se expondrán más adelante.

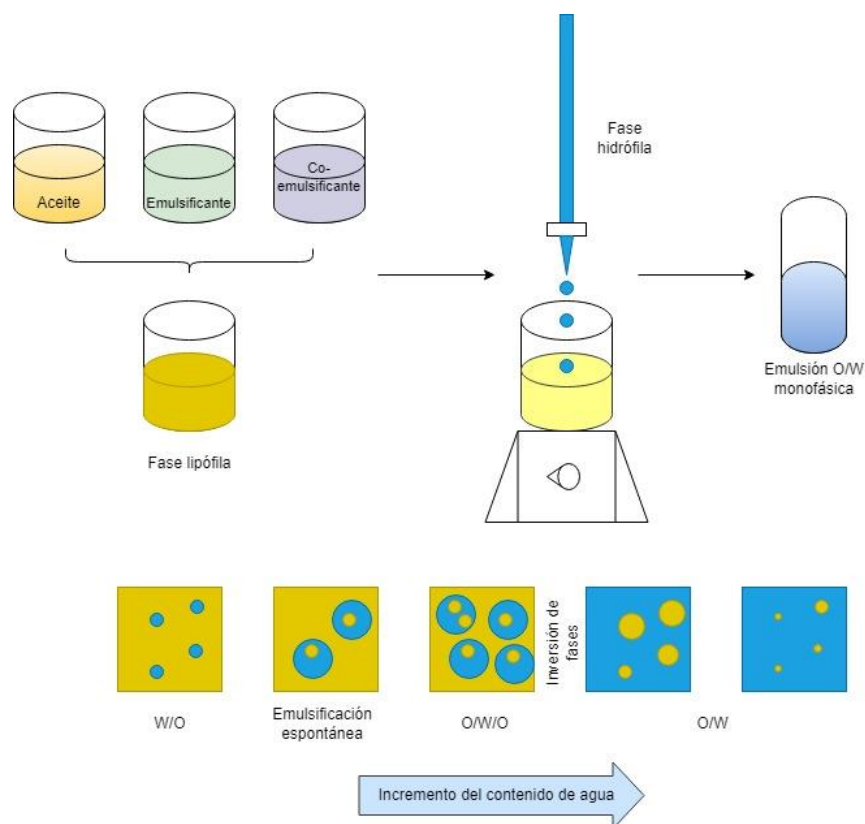


Figura 2. Representación del método de titulación con agua y la inversión de fases

La ventaja de este método es que pueden utilizarse sustancias termolábiles en la elaboración de las emulsiones, son fáciles de preparar y de realizar a gran escala. Además, permite encapsular bioactivos con baja solubilidad en agua, como las vitaminas liposolubles, en productos de base acuosa.

2.1.3 Emulsificantes

Para elaborar emulsiones de dos componentes inmiscibles entre sí, se requiere un tercer componente que reduzca la tensión interfacial entre las fases aceite-agua. A dicho componente se le llama agente emulsificante o sustancia tensioactiva. Ésta se adsorbe en la superficie de las gotas recién formadas y evita que se unan con otras para formar gotas más grandes (Dickinson, 2009). Existen varios tipos de emulsificantes cuyas propiedades moleculares y fisicoquímicas varían considerablemente dependiendo de su origen, entre ellos están los de molécula pequeña y polisacáridos, los cuales fueron utilizados en la presente investigación.

Tensioactivos de molécula pequeña. Son los más utilizados en la industria, su origen es sintético. Son anfifílicos ya que poseen un extremo no polar en forma de cola y un grupo de cabeza polar. Sin embargo, los tensioactivos naturales como las sales biliares y las saponinas tienen estructuras elipsoides con un lado hidrófobo y otro hidrófilo (Figura 3). En la estructura de los emulsificantes sintéticos, la cola no polar varía en la longitud de la cadena y el grado de insaturación, mientras que la cabeza polar varía en sus dimensiones y en su carga, la cual puede ser positiva (catiónico), negativa (aniónico), neutral (no iónico) o zwitteriónica (McClements & Jafari, 2018).



Figura 3. Estructura de emulsificantes de molécula pequeña.

En esta investigación, se utilizó el monooleato de sorbitán polioxietilenado (80) también conocido como Tween 80. Es un emulsionante no iónico sintético aprobado por la Unión Europea como aditivo alimentario (E433). Tiene la capacidad de reducir la tensión interfacial rápidamente logrando la estabilidad de la emulsión al cubrir toda la interfase aceite-agua, dificultando la coalescencia y la agregación de las gotas (Roldan-Cruz et al., 2016).

Polisacáridos. Son macromoléculas utilizadas ampliamente como ingredientes alimentarios pero presentan poca actividad superficial. La mayoría de su composición molecular es hidrófila y, por tanto, no son adecuados como emulsionantes. Sin embargo, existen polisacáridos naturales o modificados que presentan grupos hidrófobos haciéndolos anfifílicos, entre ellos están la goma arábiga, celulosa modificada y la pectina de remolacha azucarera. Dependiendo de la naturaleza del polisacárido, la estructura hidrófoba pueden ser los grupos fenólicos, hidrocarburos o proteínas. Los polisacáridos más utilizados como emulsificantes, como la pectina, tienen una carga negativa debido a la presencia de grupos funcionales aniónicos, como son los grupos carboxilos, fosfatos o sulfatos (McClements & Jafari, 2018).

Al formular una emulsión se deben considerar las propiedades del emulsificante, entre ellas la solubilidad y su partición. Si se desea elaborar una emulsión O/W generalmente se requiere un emulsionante con buena solubilidad en agua. En el caso de los tensioactivos de molécula pequeña, se emplea el número del equilibrio hidrófilo-lipófilo (HBL) ya que éste describe su solubilidad y las características de partición. Si un emulsificante tiene un HBL bajo (1 – 7) indica que tiene buena solubilidad en aceite y, por tanto, son empleados en emulsiones W/O; en cambio si tienen un HBL alto (8 – 18), nos describe que se solubilizan en el agua y pueden utilizarse en emulsiones O/W, como es el caso del Tween 80 que presenta un HBL de 15. Sin embargo, el HBL es una guía y no siempre ofrece una buena predicción del rendimiento de los emulsificantes. Es por esta razón la importancia de realizar evaluaciones para determinar la relación aceite-emulsificante antes de formular una emulsión. En cuanto a los polisacáridos emulsificantes, no existe un equivalente al sistema HBL. Considerando que la gran mayoría de su estructura es hidrófila, se recomienda disolverlos en la fase acuosa antes de formar una emulsión O/W.

Otra propiedad a considerar para determinar la concentración de un emulsificante a utilizar es su capacidad de adsorción en la interfaz aceite-agua, su actividad superficial. A menor concentración en la emulsión, menor adsorción lo que provoca poca reducción de la tensión interfacial. Conforme aumenta la concentración del emulsificante, también incrementa la adsorción hasta saturar la interfaz aceite-agua. Sin embargo, cuando el emulsificante excede un cierto valor, conocido como concentración micelar crítica (CMC), las moléculas del tensioactivo tienden a autoasociarse espontáneamente formando partículas coloidales llamadas micelas, cuyas características como tamaño, forma y carga varía según el emulsificante (McClements & Jafari, 2018). El CMC del Tween 80 es de 0.015 mM.

2.1.4 Mecanismos de desestabilización de emulsiones

Los emulsificantes tienen dos papeles fundamentales en las emulsiones, su formación y su estabilización. Durante la formación requieren adsorberse rápidamente en la interfaz aceite-agua, disminuir la tensión superficial y facilitar el rompimiento de la gota. Para promover la estabilización el emulsificante debe prevenir la unión de las gotas. Esto se logra cuando se genera una fuerte repulsión entre las partículas, también ayuda la formación de una capa interfacial resistente así como el aumento de la viscosidad de la fase continua. Los principales mecanismos de desestabilización son la separación gravitacional, floculación, coalescencia, maduración de Ostwald los cuales provocan la separación de fases (Figura 4).

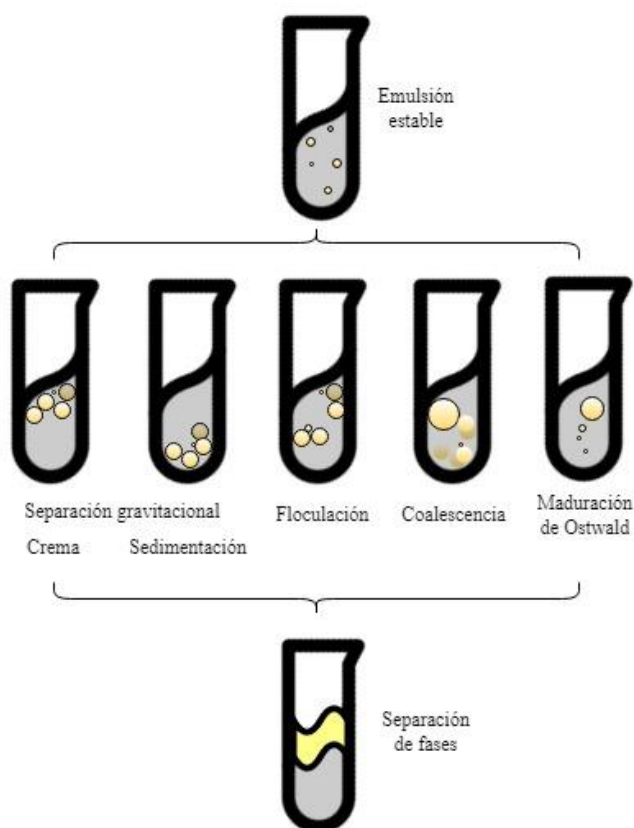


Figura 4. Mecanismos de desestabilización en emulsiones

La separación gravitacional se presenta por la diferencia de densidad entre las gotas de aceite y la fase continua. Si las partículas son menos densas que la fase continua, éstas lo ascenderán a la superficie de la emulsión formando una “crema” y si son más densas, descenderán formando una sedimentación (Pathak, 2017). En la floculación, las gotas tienden a aglutinarse cuando las interacciones de atracción, como las fuerzas de van der Waals o hidrófobas, superan las interacciones de repulsión, como son las estéricas y electrostáticas. La coalescencia ocurre cuando dos o más gotas se fusionan para formar una gota más grande. La fusión se presenta porque las capas interfaciales alrededor de las gotas se rompen cuando éstas se ponen en contacto. Finalmente, la maduración de Ostwald consiste en el crecimiento de las gotas más grandes y el achicamiento de las gotas más pequeñas con el paso del tiempo debido a la difusión del aceite a través de la fase continua intermedia (McClements, 2004).

2.1.5 Técnicas de caracterización de emulsiones

Para identificar las características de las emulsiones existen diversas técnicas analíticas. En esta sección se describirán las utilizadas en la presente investigación.

Inspección Visual. En primera instancia se puede determinar la apariencia, homogeneidad, transparencia, claridad óptica y fluidez de una emulsión visualmente.

Microscopía. Esta técnica permite obtener imágenes directas sobre las emulsiones y determinar características imperceptibles al ojo. La finalidad es obtener información sobre el tamaño, forma y estado de agregación de las partículas dispersas. El tipo de microscopía depende del tipo de matriz a analizar. En esta investigación se utilizó el microscopio óptico.

Potencial Zeta (ζ). Es una técnica de caracterización física y mide el potencial electrocinético en los sistemas coloidales. Se calcula al determinar la diferencia de potencial entre el medio disperso y la capa adherida en la partícula dispersa. Su valor se puede relacionar con la estabilidad de las emulsiones ya que nos indica el grado de repulsión entre las partículas. Un potencial zeta mayor a ± 30 mV (Tabla 1) indica que la emulsión resistirá la agregación y, por tanto, es estable. Cuando el potencial es bajo (menor a ± 30 mV) las partículas se atraerán entre sí y la dispersión tenderá a coagularse o flocular, por tanto, la emulsión es inestable (Silva et al., 2012). Sin embargo, el potencial ζ en sí mismo no es un parámetro de diagnóstico inequívoco debido a que, además de las repulsiones electrostáticas, existen otros factores como las repulsiones estéricas que afectan la estabilidad de las emulsiones (Umaña et al., 2021).

Tabla 1. Relación del potencial Zeta con la estabilidad de emulsiones.

Valor del potencial ζ	Comportamiento de estabilidad
0 a 1-5	Coagulación
± 10 a ± 30	Inestabilidad incipiente
± 30 a ± 40	Moderada estabilidad
± 40 a ± 60	Buena estabilidad
± 61 y mayor	Excelente estabilidad

Fuente: Plantz, s/f.

Tamaño de la partícula. Se determina por medio de la dispersión de luz dinámica (DLS). Permite identificar la distribución de tamaño de las partículas presentes en una emulsión. El DLS mide el movimiento browniano y lo relaciona con el tamaño de las partículas a través de la ecuación Stokes-Einstein. Al iluminar las partículas con láser y analizando las fluctuaciones de la intensidad en la luz dispersada, se calcula el tamaño de las partículas.

Conductividad. Nos indica la presencia de iones, pueden cambiar la carga eléctrica de la partícula (Umaña et al., 2021). Las emulsiones tipo O/W tienden a ser más conductivas que las W/O (Kale & Deore, 2016).

2.2 Pectinas

2.2.1 Aspectos generales

La pectina es un polisacárido estructural presente en la pared celular de las plantas la cual le confiere firmeza y resistencia mecánica. Son producidas durante la etapa inicial del desarrollo de las plantas, se encuentra en mayor concentración en frutos inmaduros. No obstante, la abundancia de las pectinas varía entre las especies, algunas pueden representar el 2% de los tejidos y otras hasta un 35% (Lara-Espinoza et al., 2018). Las principales fuentes de pectinas comerciales son las cítricas y la de manzana; son ampliamente utilizadas en la industria alimenticia y farmacéutica debido a sus propiedades gelificantes, espesantes, estabilizantes y emulsificantes.

Las propiedades de la pectina están ligadas a su estructura molecular y ésta varía entre especies de plantas, se puede ver alterada por las condiciones de crecimiento o por el método de extracción. En la industria, la pectina se produce en medios extremos: pH bajo y temperaturas elevadas lo cual puede provocar cambios en su estructura (Voragen et al., 2009). A continuación, se describen algunos aspectos generales de la estructura molecular de las pectinas y el papel que desempeña en sus propiedades emulsificantes.

2.2.2 Estructura de la pectina y su papel en la actividad interfacial

La pectina es un heteropolisacárido que contiene principalmente ácido D-galacturónico (GalA) unidos por enlaces $\alpha(1,4)$. En esta estructura base, los grupos

carboxílicos presentes pueden estar esterificados con grupos metilos (Figura 5). A la relación entre las unidades de GalA esterificadas y unidades GalA totales se le conoce como grado de esterificación (DE). El DE influye en la solubilidad y en las propiedades funcionales de la pectina. Por esta razón, las pectinas son clasificadas como de alto grado de esterificación si su DE > 50% y de menor grado de esterificación si su DE es < 50% (BeMiller, 1986).

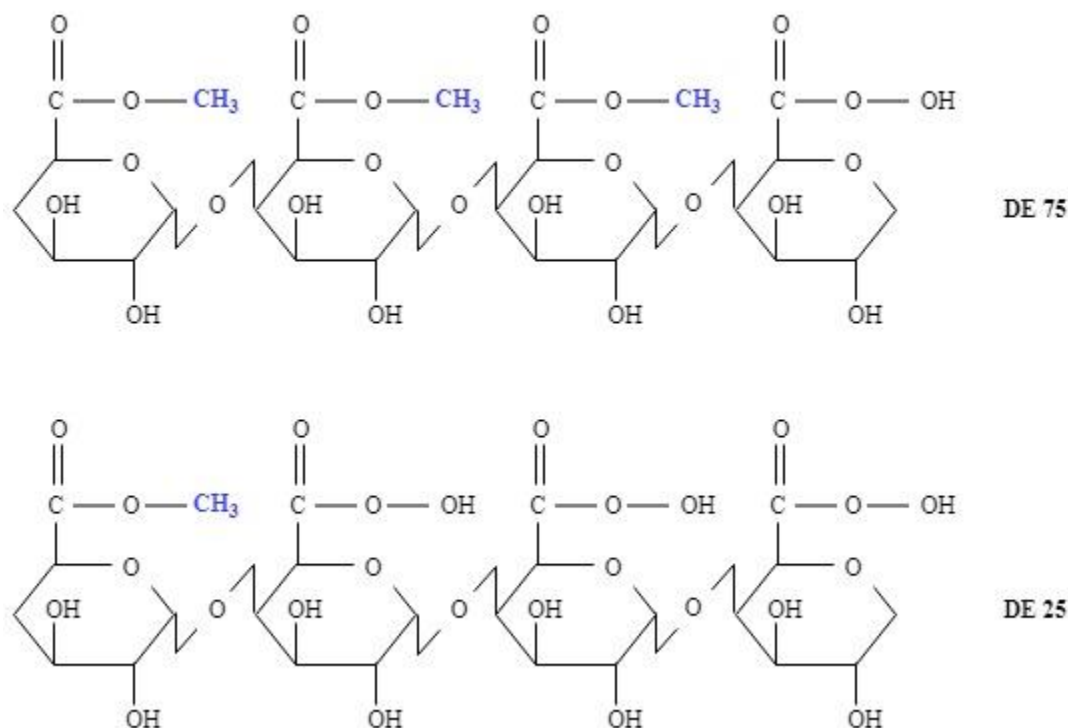


Figura 5. Estructuras de pectinas con un alto (DE 75) y bajo grado de esterificación (DE 25).

Dependiendo de las condiciones de extracción, los grupos carboxílicos libres pueden ser parcial o completamente neutralizados. Esta situación, dejará con carga negativa al monómero GalA dando como resultado una pectina que muestra características típicas de polielectrolito aniónico, contribuyendo a la estabilidad electrostática de emulsiones O/W (Belkheiri et al., 2021).

Las pectinas también presentan azúcares neutros en su estructura unidos por medio de enlaces β (1,2). Entre ellos están D-galactosa, L-arabinosa y L-ramnosa. Cabe señalar que su composición exacta aún se debate debido a la complejidad de la molécula (Lara-Espinoza et al., 2018). Sin embargo, el consenso actual propone la siguiente estructura (Figura 6) que contiene principalmente tres regiones: homogalacturonano (HG), ramnogalacturonano I (RGI) y ramnogalacturonano II (RGII).

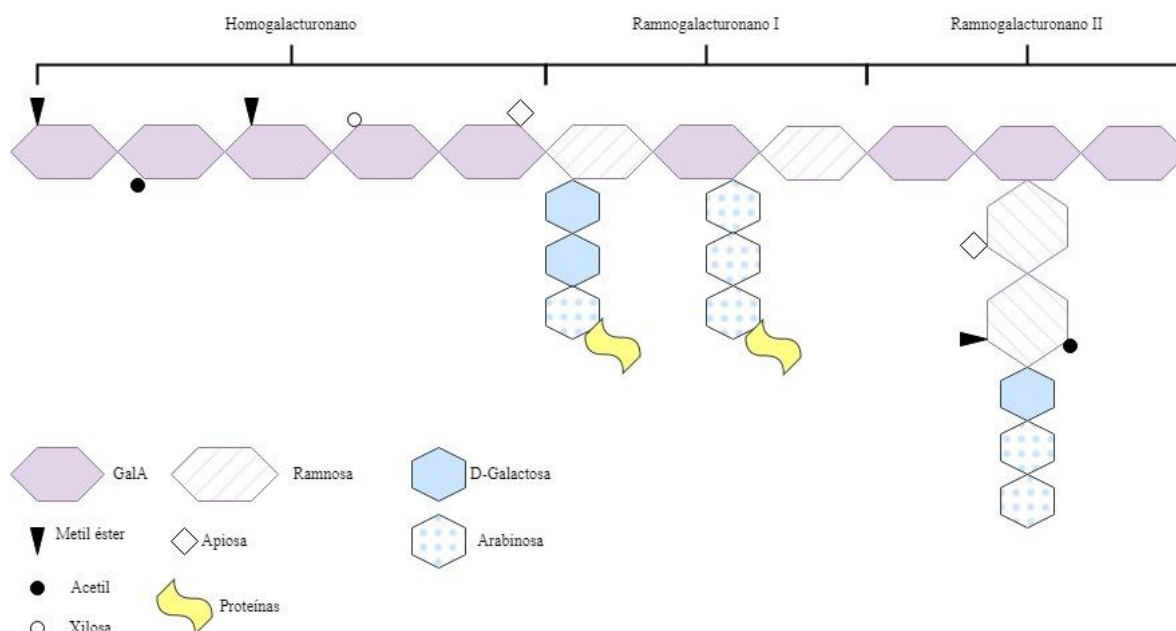


Figura 6. Estructura general de la pectina.
Fuente: (Belkheiri et al., 2021).

En las emulsiones, la pectina principalmente juega el papel de estabilizador ya que incrementa la viscosidad de la fase continua. Esta propiedad es causada por la región HG y por la relación entre las regiones HG/RG-I. Así, las pectinas con una región HG extensa y con una región RG-I pequeña proporcionan una viscosidad mayor a la fase continua. Además, la región HG crea efectos electrostáticos entre las partículas y la región RG-I efectos estéricos, lo cual evita la coalescencia y la floculación (Belkheiri et al., 2021). Aunque las pectinas no se caracterizan por ser tensoactivos, aquellas que presentan alto contenido de

proteínas (> 3%) , así como ésteres de metilo, acetilo y ácido ferúlico, tienen la capacidad de adsorberse en la interfaz aceite-agua debido a sus extremos hidrofóbicos, contribuyendo así a la disminución de la tensión interfacial. Por tanto, su papel es determinante en la formación de la emulsión (Alba & Kontogiorgos, 2020).

La influencia del peso molecular de la pectina en las propiedades emulsificantes aún no se define con exactitud. Se ha determinado que las pectinas con bajos pesos moleculares (entre $35\text{-}90 \times 10^3 \text{ g mol}^{-1}$) favorecen la actividad emulsificante debido a que presenta mejor accesibilidad hacia los grupos funcionales pero aquellas de muy bajo peso molecular ($15 \times 10^3 \text{ g mol}^{-1}$) no proporcionan una eficiente estabilización estérica. Sin embargo, si éstas últimas presentan un muy alto grado de esterificación son capaces de emulsificar espontáneamente al aceite (Alba & Kontogiorgos, 2020).

La pectina con mejor propiedades emulsificantes es la extraída de la remolacha azucarera por su alto contenido en proteínas (> 9%). Las comerciales como son la cítrica y la de manzana tienen un menor desempeño. La pectina extraída de la cáscara de sandía está compuesta principalmente por cadenas lineales HG (71.8%) con un alto grado de esterificación (> 60%) y la región RG-I por cadenas cortas de galactanos (25.8%) (Belkheiri et al., 2021). Además, se ha determinado que contiene entre 3.6 a 3.9% de proteínas (Petkowicz et al., 2017). Estas características indicaran su potencial uso como agente emulsificante.

2.2.3 Métodos de extracción de pectinas

Se han desarrollado distintos métodos para lograr la hidrólisis y extracción de la pectina. Entre ellos se encuentran el método convencional, por microondas, enzimático y ultrasónico (Belkheiri et al., 2021). En esta investigación se utilizó el método convencional

debido a que es el más utilizado en la escala industrial. Las condiciones de extracción tales como el tipo de solvente, pH, temperatura, relación sólido-líquido y tiempo determinan la cantidad de pectina extraída, así como sus propiedades fisicoquímicas.

Si bien se han realizado varias investigaciones para determinar las condiciones óptimas de extracción de pectina de la cáscara de sandía con el método convencional, los parámetros de extracción varían generando resultados diferentes (Tabla 2), incluso el origen de la sandía es una fuente de variación según concluyen (Pérez et al., 2022).

Tabla 2. Condiciones de extracción y propiedades fisicoquímicas de pectinas extraídas de cáscara de sandía por el método convencional.

Solvente	T (°C)	pH	S/L	Tiempo (h)	R (%)	GE (%)	pM (kg/mol)	Cenizas (%)	MeO (%)	Lugar	Referencias
Ácido cítrico	80	2	35.07 mL/g	62.31 min	24.3	73.3	N/D	1.24	10.45	Colombia	Pérez
Ácido cítrico	80	2	01:25	3	8.38	66.3	N/D	N/D	N/D	Malasia	Khye
HCl	95	1.36	01:20	1.5	13.4	61.55	106.1	N/D	6.55	España	Mendez
HCl	80	2	01:25	2	6.52	71.5	N/D	N/D	N/D	Malasia	Khye
HCl	95	1.35	01:20	1.5	N/D	61.6	106.1		6.8	España	Méndez
HNO3 (0.1 M)	E	N/D	01:25	1	19.3	63	34.51	N/D	N/D	Brasil	Petkowicz
HNO3 (0.1 M)	E	N/D	01:25	1	14.2	61.5	40.39	N/D	N/D	Brasil	Petkowicz

T: temperatura. E: ebullición. N/D: No disponible. S/L: Relación sólido/líquido. R: Rendimiento. GE: Grado de esterificación. pM: Peso molecular. MeO: Contenido metoxilo.

Por tanto, para obtener pectina de la cáscara de sandía con extracción ácida, el rango de temperatura debe estar entre 80 a 95°C con un pH máximo de 2. La duración de la extracción de 1 a 3 horas. Esto aseguraría que la pectina tenga un DE mayor a 60%.

Capítulo 3 – Metodología

Para lograr los objetivos de la presente investigación, se realizaron distintos procesos para extraer, caracterizar y evaluar las propiedades emulsificantes de la pectina de cáscara de sandía. Los experimentos fueron realizados en los laboratorios de Biopelículas y de Corrosión y Materiales del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

3.1 Materiales

Las sandías (*Citrullus lanatus*) y el aceite de canola fueron adquiridos en un mercado local de Mexicali, México. Las sustancias químicas y solventes utilizados como el ácido cítrico, etanol, ácido clorhídrico, alcohol isopropílico, hidróxido de sodio y cloruro de sodio fueron de grado analítico. El agua empleada para la elaboración de soluciones y emulsiones fue destilada.

3.2 Pretratamiento de la cáscara de sandía.

Las sandías fueron lavadas, manualmente cortadas y se les removió la pulpa. Las cáscaras obtenidas se trituraron y, para eliminar azúcares solubles, inactivar microorganismos y desnaturalizar enzimas, fueron sumergidas en agua destilada a 90°C durante 25 minutos con agitación magnética. Después de drenar el agua, las cáscaras fueron puestas en el deshidratador de alimentos durante 12 horas a una temperatura de 60°C. Finalmente, se redujo el tamaño de partícula con un triturador hasta quedar en polvo fino tipo harina (menor a 0.5mm). La harina fue guardada en bolsas de plástico y almacenada a 25°C para su uso posterior.

Para eliminar aceites y ceras de la harina, se agregó 10 ml de alcohol isopropílico al 90% por cada gramo de harina. Se agitaron magnéticamente durante 30 minutos. Se filtró y recuperaron los sólidos. Se repitió el proceso 3 veces. El sobrenadante fue colectado y guardado. Posteriormente, los sólidos fueron puestos en el deshidratador de alimentos durante 4 horas a una temperatura de 60°C. En la Figura 7 se muestra el resultado del pretratamiento realizado a la cáscara de sandía para su uso posterior en la extracción de pectina.

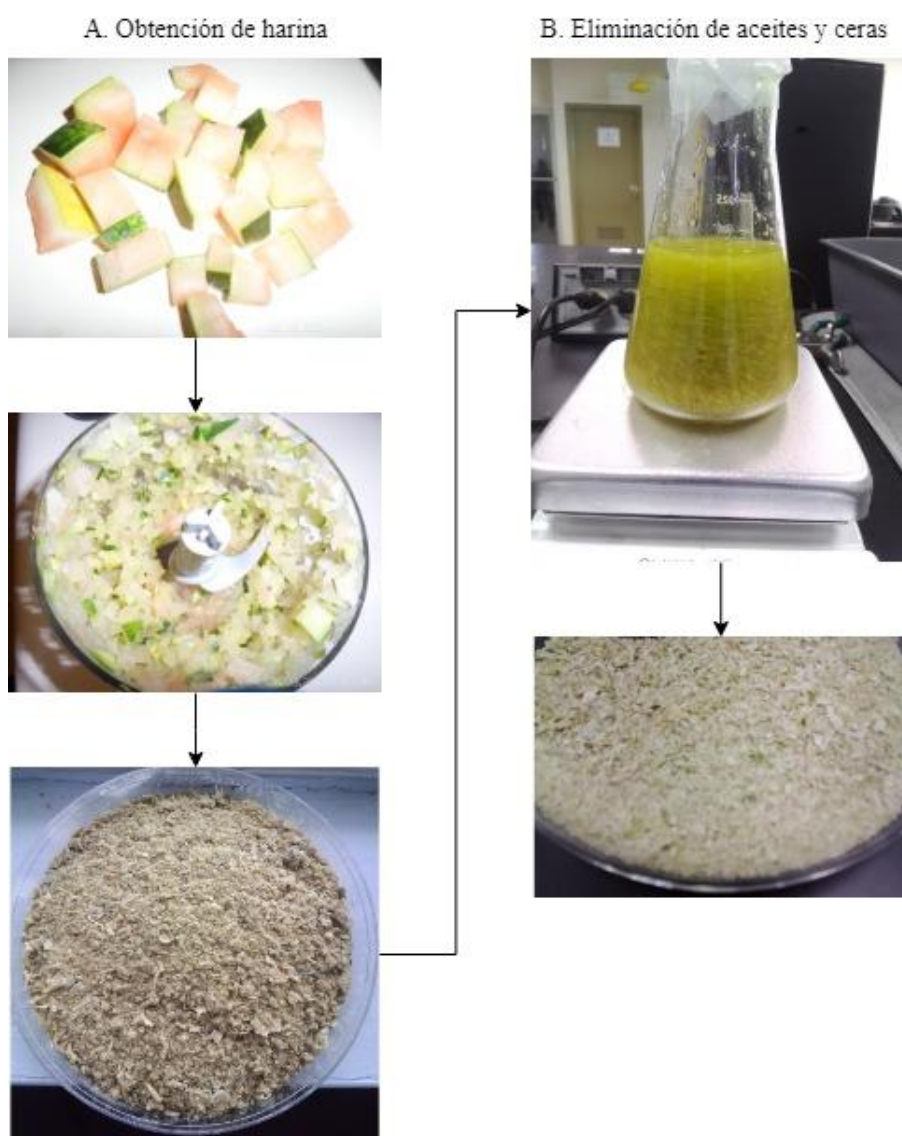


Figura 7. Pretratamiento de la cáscara de sandía.

3.3 Extracción y Caracterización de Pectina

3.3.1 Extracción ácida de pectina

La pectina fue extraída con diferentes solventes. Se usó un ácido orgánico (ácido cítrico 0.1 M, pH 3.5) y uno mineral (ácido clorhídrico 0.1 M, pH 1.2) bajo las mismas condiciones de tiempo y temperatura de extracción (80°C; 60 min). En ambos casos la relación sólido-líquido fue de 1:30 (g/mL). Al finalizar la extracción, se recuperó el líquido por medio de filtración y se dejó enfriar hasta llegar a 25°C. Posteriormente, al líquido residual se le agregó el doble del volumen de etanol al 96% para precipitar la pectina y se dejó coagular durante 18 h a 4°C. La pectina coagulada se recuperó por medio de filtración y se lavó con etanol al 96% para eliminar sales, azúcares y residuos del solvente de extracción hasta que el líquido del lavado presentara un pH mayor a 4 (Figura 8). Finalmente, se secó en un horno de convección hasta peso constante a 55°C por 12 h. En la Tabla 3 se desglosan las cantidades de cáscara de sandía utilizadas.

Tabla 3. Extracción de pectina de cáscara de sandía

Muestra	Solvente extracción	Cáscara de sandía seca (g)
SAC-01	Ácido cítrico	8.3
SAC-02	Ácido cítrico	4.7
SAC-03	Ácido cítrico	10.0
SAC-04	Ácido cítrico	10.0
SAC-05	Ácido cítrico	5.0
<i>Continuación Tabla 3</i>		
SHCL-01	Ácido clorhídrico	2.5
SHCL-02	Ácido clorhídrico	10.0
SHCL-03	Ácido clorhídrico	5.0
SHCL-04	Ácido clorhídrico	9.1
SHCL-05	Ácido clorhídrico	10.4

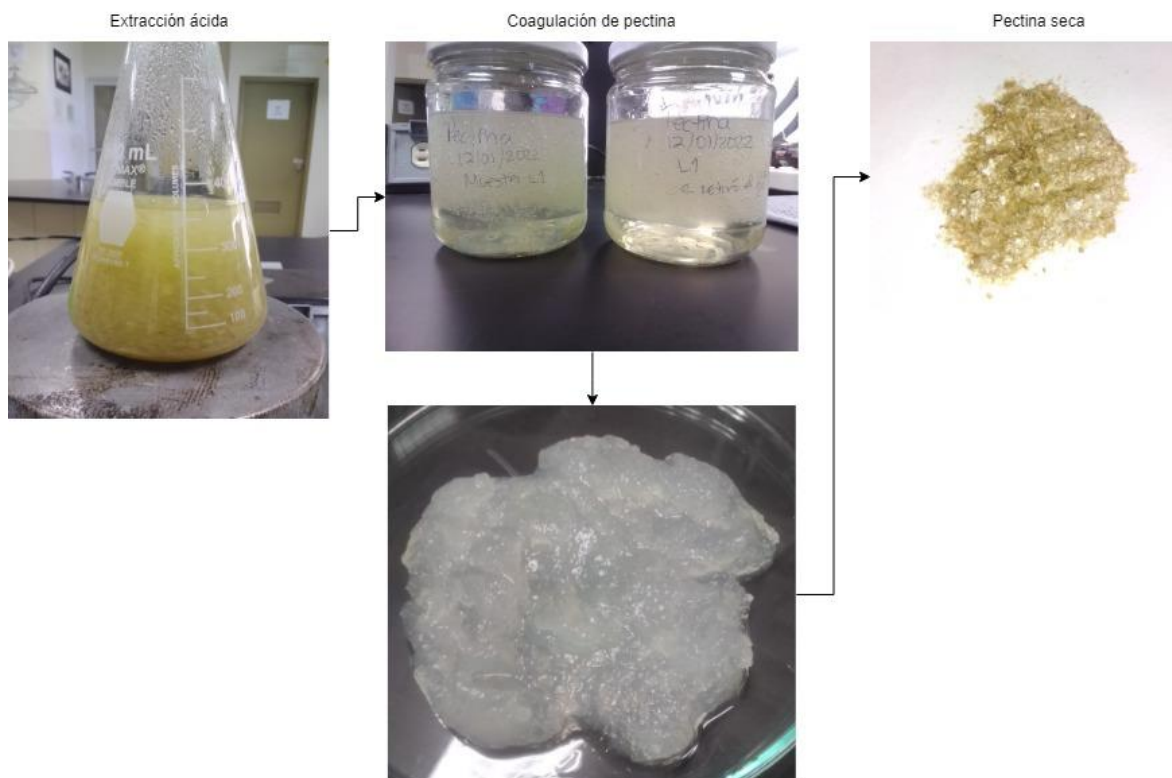


Figura 8. Proceso de extracción ácida de pectina de cáscara de sandía.

3.3.2 Porcentaje de Rendimiento

Para determinar el porcentaje de rendimiento se utilizó la fórmula:

$$\text{Rendimiento de Pectina (\%)} = \frac{\text{peso de pectina seca (g)}}{\text{peso de cáscara de sandía seca (g)}} \times 100 \quad (2)$$

3.3.3 Determinación de grado de esterificación y contenido de metoxilos.

Por medio de la titulación potenciométrica se determinó el grado de esterificación de la pectina extraída de la cáscara de sandía, así como el contenido de metoxilos. Primero se colocó 0.2 g de pectina de cáscara de sandía en un matraz Erlenmeyer. Luego se humedeció con 5 gotas de etanol al 96%. Posteriormente, se agregó 20 ml de agua destilada. Se agitó magnéticamente durante 2 horas a 40°C hasta la completa disolución de la pectina.

La titulación potenciométrica se efectuó a temperatura ambiente. Primero, en la bureta se colocó la solución de NaOH 0.1 N y a la solución de pectina se le agregó 3 gotas del indicador fenolftaleína. Poco a poco se fue agregando NaOH a la solución de pectina hasta el cambio de color (Figura 9). El volumen requerido de NaOH para la primera titulación se registró como volumen 1 (V1).

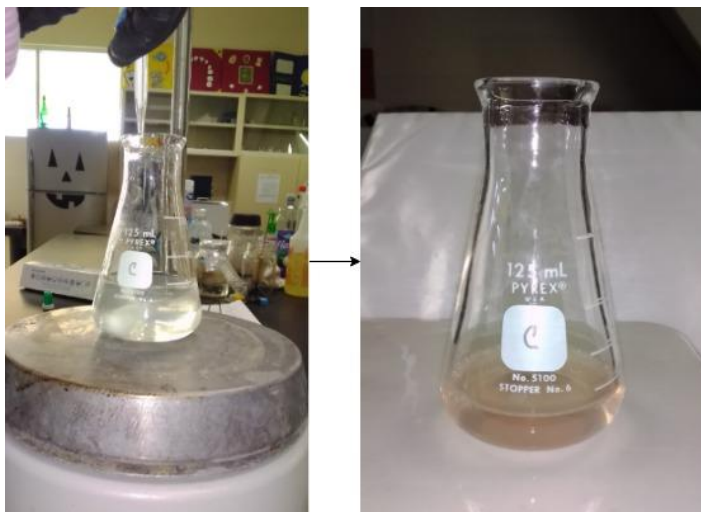


Figura 9. Titulación potenciométrica de pectina extraída de la cáscara de sandía.

Para la segunda titulación, a la solución resultante de la primera titulación se le agregó 10 ml de NaOH 0.1 N para neutralizar la solución ácida. Se agitó durante 2 horas para permitir saponificar los grupos esterificados del ácido carboxílico de la pectina. Transcurrido el tiempo, se adicionó 10 ml de HCl 0.1 N y se procedió a titular con NaOH el exceso de HCl. El volumen utilizado de NaOH se registró como volumen 2 (V2)(Bochek et al., 2001).

Así, para determinar el grado de esterificación y el contenido de metoxilos se usaron las fórmulas (Polanco-Lugo, y otros, 2019):

$$DE(\%) = \frac{V2(ml)}{V1(mL)+V2(mL)} \times 100, \quad (3)$$

$$MeO(\%) = \frac{16.32}{100} \times DE(\%), \quad (4)$$

Donde *DE* es el grado de esterificación, *MeO* el contenido de metoxilos, *V1* el volumen de la primera titulación y *V2* el volumen de la segunda titulación. El procedimiento se realizó por triplicado.

3.3.4 Viscosidad intrínseca y peso molecular viscosimétrico

La viscosidad intrínseca fue determinada según el método de Sayah (2016) con modificaciones. Brevemente, se preparó una solución patrón de pectina de sandía de 0.2 % p/v con NaCl 0.1 M como disolvente. La pectina fue diluida para obtener soluciones con un rango de concentración de 0.018 a 0.075 dL/g. Se realizaron 6 mediciones del tiempo de flujo de la marca superior a la marca inferior del viscosímetro Ubbelodhe a una temperatura de 25°C ±0.1 para cada concentración (Figura 10). Se calculó el tiempo promedio. Se realizó la prueba a tres muestras de pectina independientes.



Figura 10. Determinación de viscosidad intrínseca de la pectina.

La viscosidad relativa (η_{rel}), específica (η_{sp}) y reducida (η_{red}) fueron calculadas con las fórmulas:

$$\eta_{rel} = \eta_1/\eta_0 = t_1/t_0 \quad (5)$$

$$\eta_{sp} = \eta_{rel} - 1 \quad (6)$$

$$\eta_{red} = \eta_{sp}/C \quad (7)$$

Donde t_0 es el tiempo que tarda el solvente NaCl en fluir desde la marca superior a la inferior del viscosímetro, t_1 es el tiempo de flujo de la solución de pectina y C es la concentración de la solución de pectina.

Para determinar la viscosidad intrínseca $[\eta]$ se extrapolo linealmente la viscosidad reducida a concentración cero. El peso molecular viscosimétrico $[Mw]$ de la pectina extraída con ácido cítrico y ácido clorhídrico se estimó a partir de la viscosidad intrínseca $[\eta]$ a través de la ecuación de Mark Houwink-Sakura:

$$[\eta] = K[Mw]^a \quad (8)$$

Donde K y a son constantes empíricas que dependen de la temperatura, solvente y polímero. Los valores correspondientes a pectina son (Migliori et al., 2010): $K = 9.55 \times 10^{-4}$ (dL/g) y $a = 0.73$.

3.3.5 Espectro infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR)

Se obtuvo el espectro infrarrojo de la pectina extraída de la cáscara de sandía con ácido clorhídrico utilizando un espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier. El espectro fue realizado en el rango de 400 a 4000 cm^{-1} .

3.3.6 Cenizas

Se realizó la prueba de cenizas a la pectina de cáscara de sandía con HCl como solvente extractante. Se colocó 0.4870 g de pectina en un crisol en una mufla. Se incineró el material orgánico al utilizar una temperatura de 600°C durante 4 h. Se utilizó la siguiente fórmula para determinar el contenido de cenizas que representan las impurezas de la muestra a evaluar:

$$Cenizas(\%) = \frac{Cenizas\ (g)}{Pectina\ (g)} \times 100, \quad (9)$$

3.4 Preparación de emulsiones

3.4.1 Emulsiones con polisacáridos como emulsificantes.

Se prepararon soluciones de pectina de cáscara de sandía, pectina comercial cítrica y goma arábiga en distintas concentraciones (1- 2% p/v). La emulsión se preparó con el método de titulación con agua a temperatura ambiente. Al aceite de canola se le agregó 10 ml de la solución del polisacárido, se mezcló con agitación magnética y se fue agregando agua hasta alcanzar la concentración deseada de aceite en la emulsión (Tabla 4).

Tabla 4. Formulación de emulsiones con polisacáridos

Código	Aceite %	Polisacárido %	Agua %	Código	Aceite %	Polisacárido %	Agua %
PC-A	9.09	1.82	89.09	GA-1	9.09	1.82	89.09
PC-B	16.67	1.67	81.67	GA-2	16.67	1.67	81.67
PC-C	23.08	1.54	75.38	GA-3	23.08	1.54	75.38
PC-D	28.57	1.43	70.00	GA-4	28.57	1.43	70.00
PC-E	33.33	1.33	65.33	GA-5	33.33	1.33	65.33
PC-1	9.09	1.82	89.09	WP-1	4.76	1.90	93.33
PC-2	16.67	1.67	81.67	WP-2	9.09	1.82	89.09
PC-3	23.08	1.54	75.38	WP-3	16.67	1.67	81.67
PC-4	28.57	1.43	70.00	WP-4	23.08	1.54	75.38

PC-5	33.33	1.33	65.33	WP-5	28.57	1.43	70.00
				WP-6	33.33	1.33	65.33
				WP-7	0.99	1.98	97.03
				WP-8	2.91	1.94	95.15

PC-Letras = Pectina cítrica al 1% p/v. PC-Número = Pectina cítrica al 2% p/v. GA = Goma arábica al 2% p/v. WP = Pectina de cáscara de sandía al 2% p/v.

3.4.2 Emulsiones con Tween 80

Se elaboraron emulsiones de Tween 80 con el aceite de canola con el método de titulación con agua a temperatura ambiente. Brevemente, se mezclaron el Tween 80 con el aceite por medio de agitación magnética. Luego, con una bureta se fue agregando el agua suficiente para alcanzar la proporción deseada de aceite y Tween 80. En la

Tabla 5 se desglosan los datos de la formulación de las emulsiones.

Tabla 5 Composición de emulsiones preparadas con aceite de canola y Tween 80.

Código	Tween 80 %	Aceite %	Agua %	Código	Tween 80 %	Aceite %	Agua %
T1A9	0.56	5.00	94.44	T5A1	8.93	1.79	89.29
T1A8	0.63	5.00	94.38	T6A1	10.00	1.67	88.33
T1A7	0.71	5.00	94.29	T7A1	8.75	1.25	90.00
T1A6	0.83	5.00	94.17	T8A1	10.00	1.25	88.75
T1A5	1.00	5.00	94.00	T9A1	9.00	1.00	90.00
T1A4	1.25	5.00	93.75	T4A1-B	5.00	1.25	93.75
T1A3	1.67	5.00	93.33	T4A1-C	2.50	0.63	96.88
T1A2	2.50	5.00	92.50	T4A1-D	1.25	0.31	98.44
T3A2	7.50	5.00	87.50	T4A1-E	0.63	0.16	99.22
T2A3	3.33	5.00	91.67	T5A1-B	4.46	0.89	94.64
T1A1	5.00	5.00	90.00	T6A1-B	4.29	0.71	95.00
T2A1	10.00	5.00	85.00	T7A1-B	4.38	0.63	95.00
T3A1	15.00	5.00	80.00	T10A1	10.00	1.00	89.00
T4A1	10.00	2.50	87.50	T15A1	15.00	1.00	84.00

3.4.3 Emulsiones con pectina de cáscara de sandía y Tween 80

Se elaboraron emulsiones con pectina de cáscara de sandía, Tween 80 y aceite de canola con el método de titulación con agua. Primero, se preparó una solución de pectina de

cáscara de sandía al 2% p/v al disolver 1 g de pectina en 50 ml de agua destilada. El pH de la solución fue de 2.8. Después, se creó la fase lipófila al mezclar el aceite de canola, la pectina de sandía y el Tween 80 por medio de agitación magnética. Finalmente, con una bureta se fue agregando el agua suficiente para alcanzar la proporción deseada de los componentes (Figura 11). En la Tabla 6 se desglosan los datos de la formulación de las emulsiones.



Figura 11. Elaboración de emulsiones por el método de titulación con agua.

Tabla 6. Formulación de emulsiones Tween 80, pectina de sandía y aceite de canola.

Código	Tween 80 %	Pectina %	Aceite %	Agua %
T10P0	10.0%	0.0%	1.0%	89.0%
T9P1	9.0%	1.0%	1.0%	89.0%
T8P2	8.0%	2.0%	1.0%	89.0%
T7P3	7.0%	3.0%	1.0%	89.0%
T6P4	6.0%	4.0%	1.0%	89.0%
T5P5	5.0%	5.0%	1.0%	89.0%
T4P6	4.0%	6.0%	1.0%	89.0%
T3P7	3.0%	7.0%	1.0%	89.0%

T2P8	2.0%	8.0%	1.0%	89.0%
T1P9	1.0%	9.0%	1.0%	89.0%
T0P10	0.0%	10.0%	1.0%	89.0%
T9P2	9.0%	2.0%	1.000%	88.0%
T9P3	9.0%	3.0%	1.000%	87.0%

3.4.4 Caracterización de las emulsiones

Las emulsiones fueron revisadas visualmente para determinar su estabilidad macroscópica y por medio de un microscopio óptico se obtuvieron imágenes de las partículas de las emulsiones. Aquellas que fueron claras y transparentes se les realizó, por medio de la técnica de dispersión dinámica de la luz (DSL), la medición del diámetro de la micela utilizando un láser difractómetro Nanotrac. El diámetro promedio (nm) y las curvas de distribución de tamaño fueron utilizados para caracterizar las emulsiones. Además, se midió el potencial Z (mV) de las micelas.

3.5 Análisis Estadístico

El análisis estadístico ANOVA se realizó utilizando el programa Matlab ® versión 2012b con una significancia de $p < 0.05$.

Capítulo 4 - Resultados

Los resultados de los experimentos realizados para extraer, caracterizar y evaluar las propiedades emulsificantes de la pectina de cáscara de sandía se exponen a continuación. Además, se explica el significado de los resultados obtenidos así como su coincidencia o no con otras investigaciones para determinar los aspectos novedosos de la investigación.

4.1 Extracción de pectina de cáscara de sandía

El rendimiento de extracción de pectina usando ácido clorhídrico como solvente extractante fue significativamente mayor al compararlo con el ácido cítrico (Tabla 7). Estos resultados son diferentes a los publicados en otros estudios (Lee & Choo, 2020). Las diferencias podrían deberse a que la concentración de ácido cítrico fue menor en esta investigación generando un pH de la solución extractante mayor al utilizado en otras investigaciones. Sin embargo, esto demuestra que, para obtener un mayor rendimiento con ácido cítrico, se debe usar una mayor cantidad de este ácido débil. En cambio, se requiere una menor cantidad de ácido clorhídrico para tener un medio con pH menor a 2. A nivel industrial, es más redituable utilizar menor cantidad de un solvente.

Tabla 7. Rendimiento en la extracción ácida de pectina.

Experimento	Ácido cítrico	Ácido clorhídrico
1	4.09%	11.54%
2	8.12%	10.18%
3	4.90%	9.33%
4	5.23%	11.59%
5	5.84%	9.88%
Promedio	5.64%	10.50%
Desviación estándar	±1.52%	±1.02%

4.2 Caracterización de la pectina de cáscara de sandía

La pectina extraída con ácido cítrico presentó un grado de esterificación (DE) del $63.73\% \pm 2.71\%$ y un grado de metoxilación (MeO) del $10.40 \pm 0.44\%$. En cambio, la pectina obtenida con ácido clorhídrico presentó un DE del $70.02 \pm 2.8\%$ y un MeO del $11.43 \pm 0.36\%$, lo cual coincide con los valores reportados en la literatura. Sin embargo, en este estudio el grado de esterificación y contenido de metoxilo es ligeramente mayor en las pectinas extraídas con HCl (Tabla 8) contrario a lo que reportan otros estudios (Lee & Choo, 2020; Mendez et al., 2021; Pérez et al., 2022; Petkowicz et al., 2017). Esto puede deberse al hecho de que la temperatura y tiempo de extracción empleado en esta investigación fue menor al utilizado en dichos estudios. Es sabido que condiciones extremas (pH bajo, alta temperatura) propician la hidrólisis de la pectina disminuyendo así su grado de esterificación y contenido de metoxilo.

Tabla 8. Grado de esterificación y contenido de metoxilo de la pectina.

Muestra	Solvente extracción	V1 (ml)	V2 (ml)	DE(%)	MeO(%)
SAC-A	Ácido cítrico	12.5	23.4	65.18	10.64
SAC-B	Ácido cítrico	12.8	24.2	65.41	10.67
SAC-C	Ácido cítrico	16.9	26	60.61	9.89
SHCL-A	Ácido clorhídrico	11.5	24.9	68.41	11.16
SHCL-B	Ácido clorhídrico	8.8	23.2	72.5	11.83
SHCL-C	Ácido clorhídrico	12	26.9	69.15	11.29

Las pectinas con propiedades emulsificantes tienen un alto grado de esterificación. Como la pectina extraída de la cáscara de sandía cumple con este requisito, se estima que tendrá la capacidad de producir emulsiones estables.

4.2.1 Peso molecular viscosimétrico de la pectina.

El peso molecular de la pectina extraída con ácido cítrico fue de 15,020.41 g/mol y para la extraída con ácido clorhídrico fue de 30,093.41 g/mol (Tabla 9). El peso molecular fue calculado con la viscosidad intrínseca de la pectina (Figura 12). En otros estudios sólo han evaluado el peso molecular de pectinas extraídas de cáscara de sandía usando HCl y HNO₃ como solvente extractante (Mendez et al., 2021; Petkowicz et al., 2017). Al comparar el resultado de esta investigación con ellos, el peso molecular de la pectina es menor. Esta discrepancia podría deberse al método de determinación o al origen del fruto ya que, a diferencia de las proteínas, las pectinas y los polisacáridos en general presentan pesos moleculares indefinidos debido al mecanismo de ensamble del polímero (Nelson et al., 2013).

Tabla 9. Medidas viscosimétricas de la pectina extraída con ácido cítrico (AC) y ácido clorhídrico (HCl).

Muestra	Concentración (g/dL)	Tiempo (s)	Viscosidad relativa [η] _{REL}	Viscosidad específica [η] _{sp}	Viscosidad reducida [η] _{RED}	Viscosidad intrínseca [η] dl/g
AC-A	0	5.13	-	-	-	1.14949
	0.018	5.25	1.02300	0.02300	1.26511	
	0.033	5.37	1.04711	0.04711	1.41326	
	0.046	5.47	1.06693	0.06693	1.45008	
	0.057	5.56	1.08350	0.08350	1.46118	
	0.067	5.67	1.10559	0.10559	1.58382	
	0.075	5.78	1.12703	0.12703	1.69374	
AC-B	0	5.13	-	-	-	1.11674
	0.018	5.25	1.02371	0.02371	1.30399	
	0.033	5.38	1.04839	0.04839	1.45177	
	0.046	5.50	1.07080	0.07080	1.53405	
	0.057	5.59	1.08931	0.08931	1.56301	
	0.067	5.72	1.11530	0.11530	1.72946	
	0.075	5.86	1.14128	0.14128	1.88373	
AC-C	0	5.13	-	-	-	0.9408
	0.018	5.23	1.0195	0.0195	1.0721	
	0.033	5.36	1.0444	0.0444	1.3333	
	0.046	5.49	1.0698	0.0698	1.5120	
	0.057	5.57	1.0862	0.0862	1.5078	
	0.067	5.67	1.1053	0.1053	1.5789	

	0.075	5.80	1.1306	0.1306	1.7414	
HCl-A	0	5.13	1.03576	0.03576	1.96684	
	0.018	5.31	1.06632	0.06632	1.98960	
	0.033	5.47	1.09948	0.09948	2.15540	
	0.046	5.64	1.12874	0.12874	2.25293	1.66758
	0.057	5.79	1.16450	0.16450	2.46749	
	0.067	5.97	1.19506	0.19506	2.60078	
	0.075	6.13	1.03576	0.03576	1.96684	
HCl-B	0	5.13	1.03964	0.03964	2.17999	
	0.018	5.33	1.07310	0.07310	2.19298	
	0.033	5.51	1.10689	0.10689	2.31590	
	0.046	5.68	1.14100	0.14100	2.46751	1.92397
	0.057	5.85	1.17381	0.17381	2.60721	
	0.067	6.02	1.20240	0.20240	2.69872	
	0.075	6.17	1.03964	0.03964	2.17999	
HCl-C	0	5.12	1.03649	0.03649	2.00717	
	0.018	5.30	1.07168	0.07168	2.15054	
	0.033	5.48	1.10108	0.10108	2.18996	
	0.046	5.63	1.13555	0.13555	2.37211	1.73454
	0.057	5.81	1.17367	0.17367	2.60508	
	0.067	6.00	1.20072	0.20072	2.67622	
	0.075	6.14	1.03649	0.03649	2.00717	

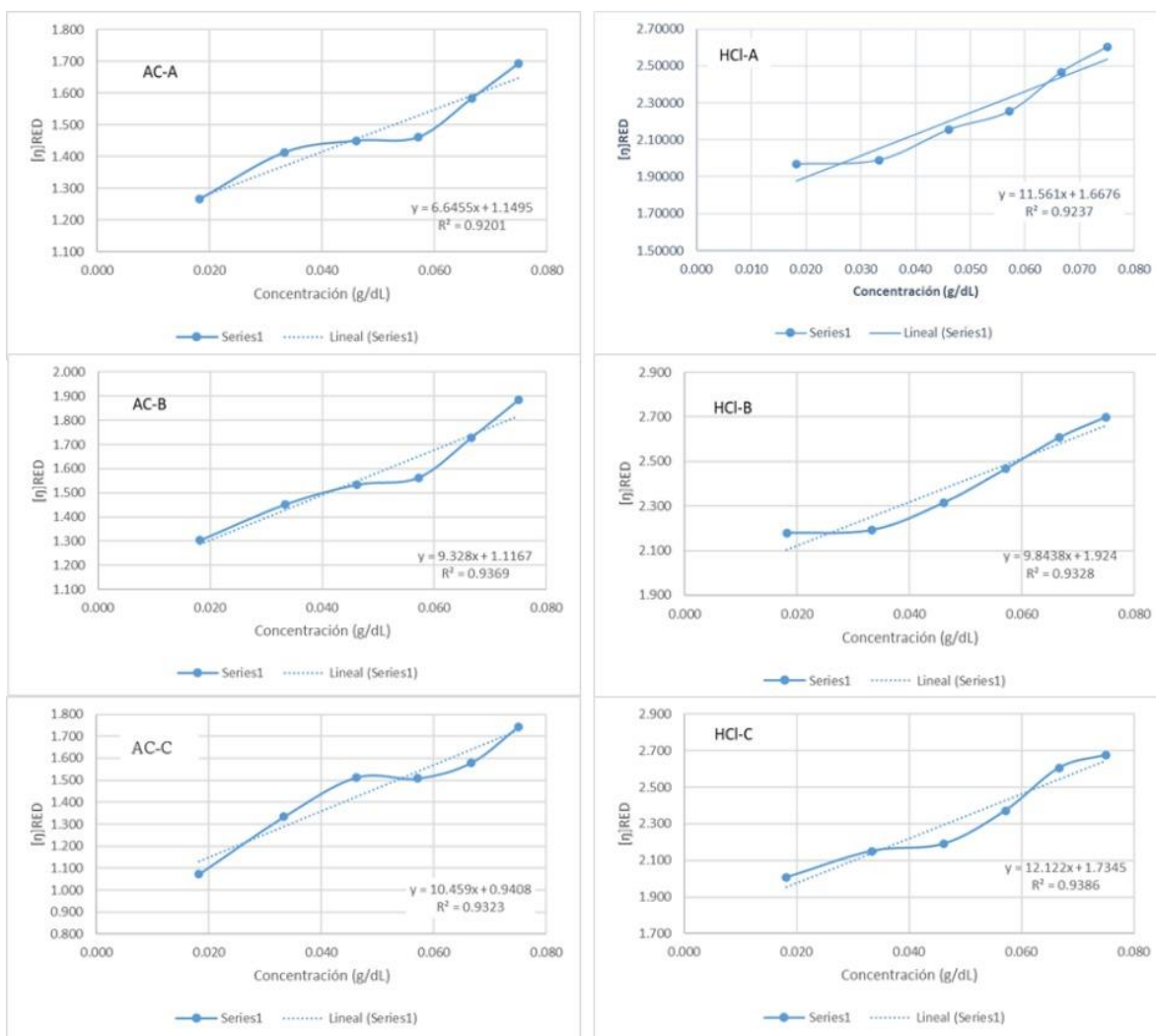


Figura 12. Curvas de Viscosidad Reducida $[\eta]_{red}$ vs Concentración para determinar la viscosidad intrínseca de las pectinas extraídas con ácido cítrico y ácido clorhídrico.

El peso molecular de la pectina extraída de la cáscara de sandía se considera bajo, lo cual la hace candidata a presentar propiedades emulsificantes.

4.2.2 Espectro FT-IR de la pectina de cáscara de sandía.

La validación de la pectina se llevó a cabo con la obtención del espectro infrarrojo con transformada de Fourier. En dicho espectro se observan los picos característicos de la pectina (Figura 13).

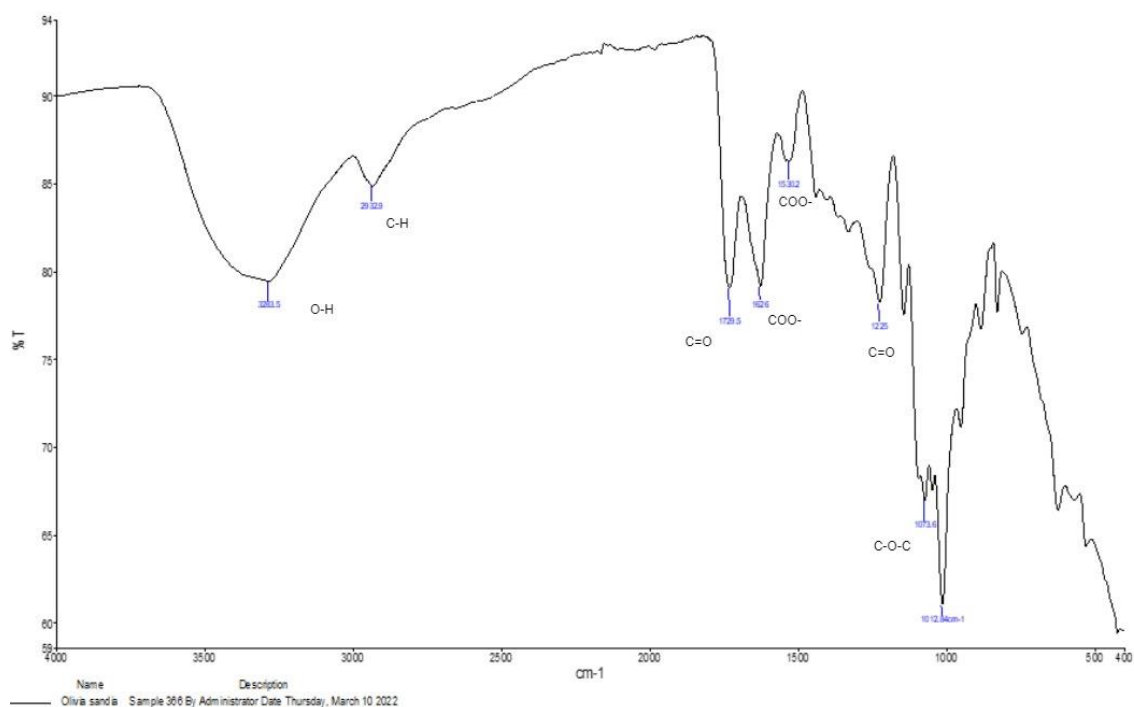


Figura 13. Espectro infrarrojo de la pectina extraída de la cáscara de sandía.

Los picos presentes en las longitudes de onda 3383.5 cm^{-1} y 2932.90 cm^{-1} , corresponden a las vibraciones de estiramiento de los enlaces O-H y C-H, respectivamente. Estos enlaces son comunes en los polisacáridos. La confirmación de que la molécula se trata de pectina está en los picos 1729.50 cm^{-1} y 1626 cm^{-1} , donde el primero representa las vibraciones de estiramiento de los grupos carboxílicos esterificados (C=O) y el segundo a los grupos carboxílicos libres (COO⁻). Además, los picos en 1439 cm^{-1} y 1225 cm^{-1} representan el estiramiento simétrico de los enlaces COO⁻ y C=O, respectivamente. Finalmente, alrededor de 1000 cm^{-1} se manifestaron picos que representan a los enlaces glicosídicos (C-O-C).

4.2.3 Contenido de cenizas

Según la Asociación Internacional de Productores de Pectinas (IPPA) el contenido de cenizas permitido para considerarlas de calidad es $\leq 10\%$. La pectina de cáscara de sandía extraída con HCl presentó 1.77% de cenizas. Este resultado no puede compararse con otros estudios debido a que no proporcionan esta información de pectinas extraídas con el método convencional con HCl como ácido extractante.

En resumen, el ácido clorhídrico fue el solvente más efectivo en extraer la pectina de la cáscara de sandía al compararlo con el ácido cítrico. Además de obtener el mayor porcentaje de rendimiento de extracción, también permitió la extracción de pectinas con mayor grado de esterificación, contenido de metoxilos y peso molecular viscosimétrico. Por esta razón, la pectina extraída con HCl fue utilizada en la elaboración de emulsiones. Los resultados de la evaluación de su capacidad emulsificante se muestran a continuación.

4.3 Propiedades emulsificantes de pectina de cáscara de sandía.

4.3.1 Emulsiones con pectina de cáscara de sandía.

En la Tabla 10 se desglosan las proporciones de las emulsiones preparadas con los polisacáridos, así como los resultados de la inspección visual. Todas las emulsiones preparadas con pectina comercial cítrica y con goma arábica presentaron separación de fases inmediata. Sólo cuatro emulsiones preparadas con pectina de sandía permanecieron estables al menos 24 h.

Según la literatura, la pectina comercial cítrica y la goma arábica tienen propiedades emulsificantes cuando el método de preparación de las emulsiones es de alta energía. Al

utilizarlas para preparar emulsiones con un método de baja energía, no pudieron adsorberse en la interfaz aceite-agua lo cual provocó la separación de fases de manera inmediata. En cambio, la pectina extraída de la cáscara de sandía produjo emulsiones de apariencia lechosa, aunque la separación de fases terminó presentándose en un lapso de 24 horas.

Tabla 10. Resultados de la inspección visual de emulsiones con polisacáridos como emulsificantes.

Código	Aceite %	Polisacárido %	Agua %	Apariencia	Separación de fases	Superficie espejo
PC-A	9.09	1.82	89.09	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-B	16.67	1.67	81.67	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-C	23.08	1.54	75.38	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-D	28.57	1.43	70.00	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-E	33.33	1.33	65.33	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-1	9.09	1.82	89.09	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-2	16.67	1.67	81.67	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-3	23.08	1.54	75.38	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-4	28.57	1.43	70.00	N/A	Sí, inmediata	N/A
PC-5	33.33	1.33	65.33	N/A	Sí, inmediata	N/A
GA-1	9.09	1.82	89.09	N/A	Sí, inmediata	N/A
GA-2	16.67	1.67	81.67	N/A	Sí, inmediata	N/A
GA-3	23.08	1.54	75.38	N/A	Sí, inmediata	N/A
GA-4	28.57	1.43	70.00	N/A	Sí, inmediata	N/A
GA-5	33.33	1.33	65.33	N/A	Sí, inmediata	N/A
WP-1	4.76	1.90	93.33	Lechosa	Sí, después de 24 h a T ambiente	No
WP-2	9.09	1.82	89.09	Lechosa	Sí, después de 24 h a T ambiente	No
WP-3	16.67	1.67	81.67	Lechosa	Sí	Sí
WP-4	23.08	1.54	75.38	Lechosa	Sí	Sí
WP-5	28.57	1.43	70.00	Lechosa	Sí	Sí
WP-6	33.33	1.33	65.33	Lechosa	Sí	Sí
WP-7	0.99	1.98	97.03	Lechosa	Sí, después de 24 h a T ambiente	No
WP-8	2.91	1.94	95.15	Lechosa	Sí, después de 24 h a T ambiente	No

N/A = No aplica

Sólo cuatro emulsiones preparadas con pectina de sandía permanecieron estables al menos 24 horas (WP1,WP2,WP7 y WP8), ellas tienen en común que la concentración de aceite es menor al 10% (Figura 14). A estas emulsiones, se les realizó la prueba del potencial Z así como la evaluación en el microscopio óptico para visualizar las partículas dispersas.

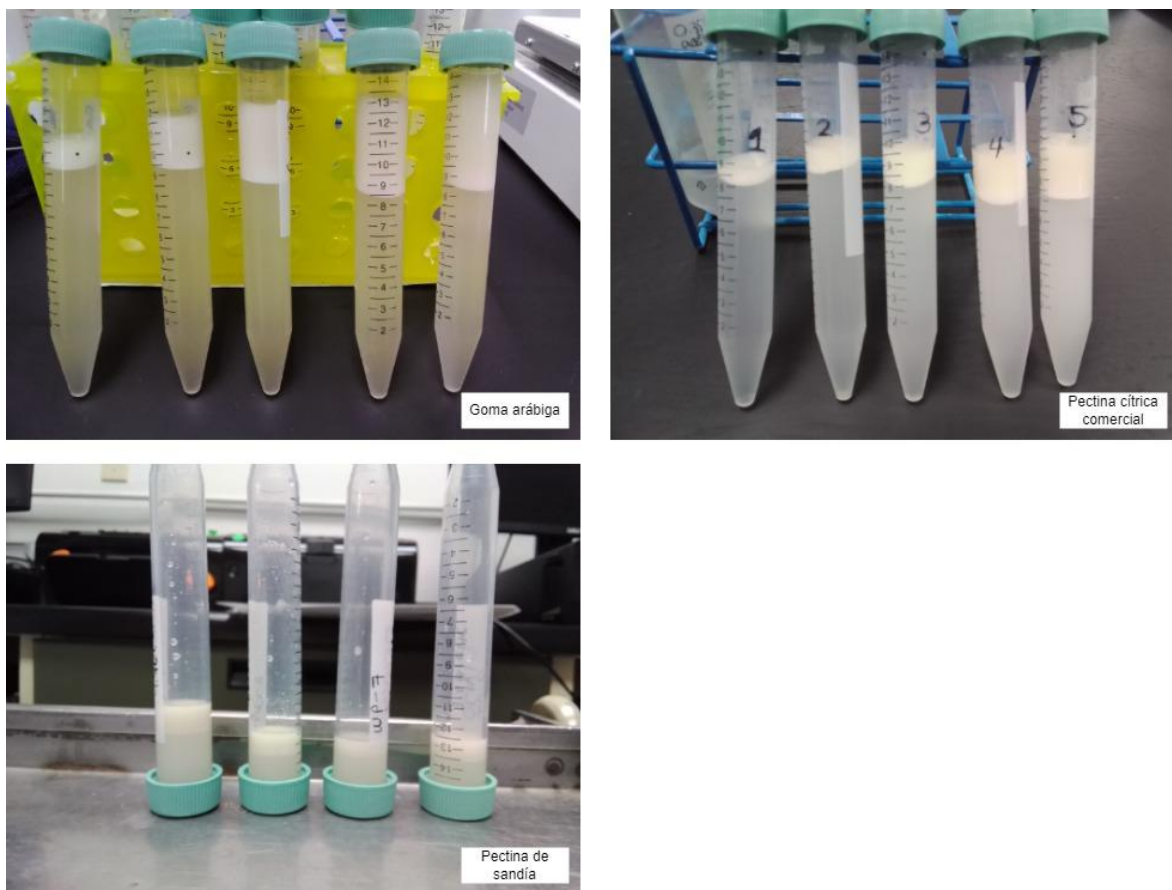


Figura 14. Comparación de emulsiones preparadas con goma arábica, pectina cítrica comercial y pectina de sandía.

Al analizar bajo el microscopio óptico las muestras se apreció el mecanismo de desestabilización de floculación y coalescencia (Figura 15). A pesar de que mostraron una apariencia uniforme, esta inspección microscópica nos informó que la emulsión sería inestable a corto plazo.

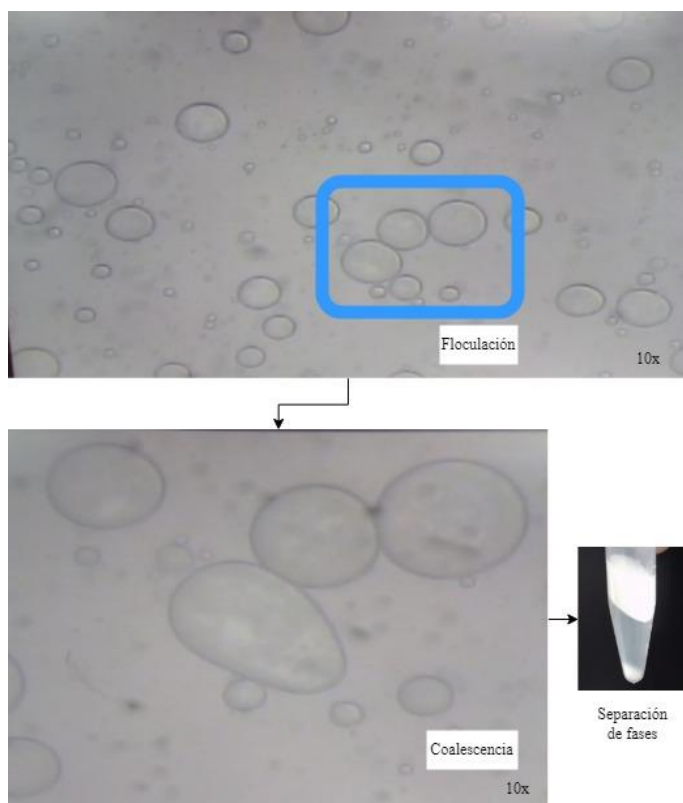


Figura 15. Floculación y coalescencia en emulsiones con pectina de sandía.

Los resultados de la prueba del potencial ζ estuvieron en el rango de +0.5 a +10.5 (mV), lo que confirma la inminente inestabilidad de la emulsión (Tabla 11). Estos resultados discrepan con los reportados en otros estudios los cuales determinaron la buena estabilidad en emulsiones con mayores concentraciones pectina de sandía (3.5 a 4%) y alto contenido de aceite (9 a 60% v/v) (Mendez et al., 2021; Petkowicz et al., 2017). Probablemente el método de preparación influyó debido a que en ambos estudios el método fue de alta energía. Además, el tipo de aceite empleado también puede ser un factor, como en el estudio de Petkowicz (2017) donde usó un aceite de cadena corta lo que probablemente facilitó la formación de micelas con menor superficie.

Tabla 11. Potencial Z de emulsiones preparadas con pectina de sandía.

	WP1	WP2	WP7	WP8
Potencial ζ	0.5	9.4	200*	10.5
Polaridad	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Mobilidad (uS/V/cm)	0.04	0.73	15.63*	0.82
Conductividad (uS/cm)	882	926	1036	956

*Fuera de rango

La polaridad de las partículas fue positiva, lo cual nos indica que la pectina no se adsorbió al interfaz aceite-agua. Se esperaría que fuera negativa para considerar que fue adsorbida y, por tanto, deducir que presenta actividad superficial, lo cual no ocurrió. Por tal motivo, la pectina como único emulsificante produce emulsiones inestables bajo el método de titulación con agua.

4.3.2 Emulsiones con Tween 80

Debido a que la pectina de sandía no funcionó como único emulsificante, se planteó el uso de un tensioactivo no iónico para evaluar si es capaz de adherirse a la superficie de la micela. Primero se elaboraron emulsiones con Tween 80 y aceite de canola en distintas proporciones con el método de titulación con agua. En la Figura 16 se desglosan los resultados de la inspección visual de las emulsiones.

Se eligió a la emulsificación con relación Aceite-Tween 1:15 (v/v) como la referencia ya que presentó estabilidad. La emulsión con relación Aceite-Tween 1:10 (v/v) fue utilizada como la experimental, es decir, se tomaría como base para la elaboración de emulsiones con pectina y Tween 80 como emulsificantes.

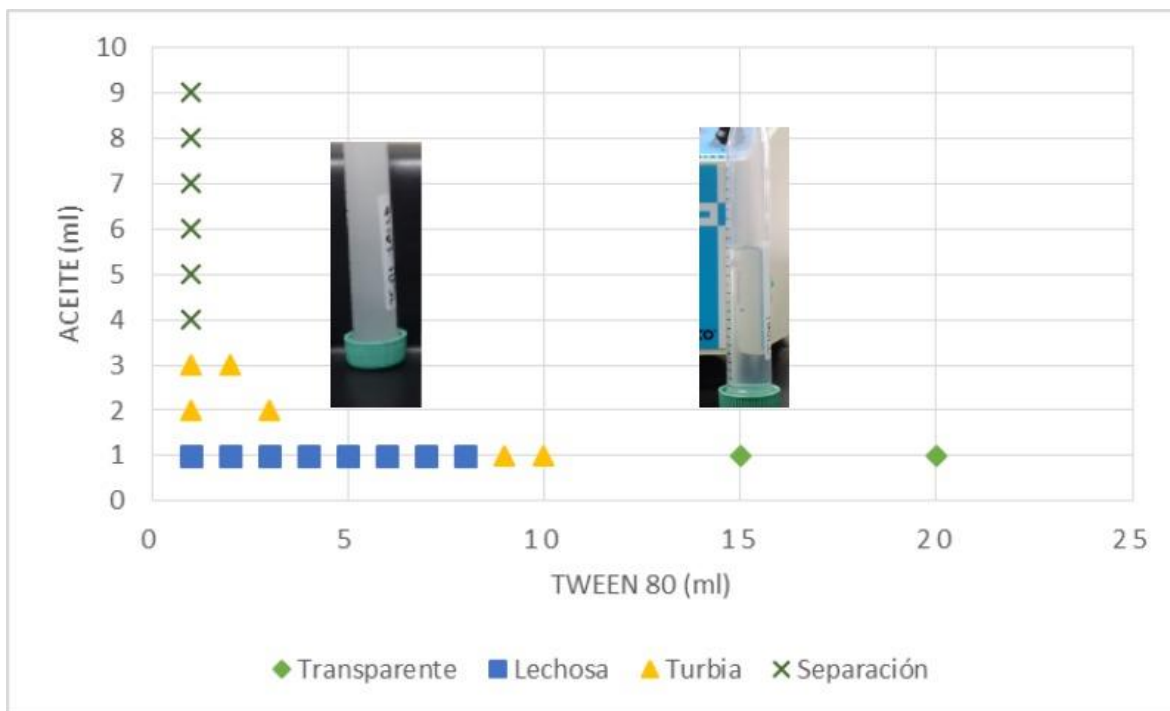


Figura 16. Apariencia macroscópica de emulsiones con aceite de canola y Tween 80.

4.3.3 Emulsiones con pectina de sandía, Tween 80 y aceite de canola.

Se elaboraron emulsiones donde la proporción de aceite fue del 1% v/v. En la Tabla 12 se desglosan las relaciones evaluadas entre la pectina y el Tween 80, así como la apariencia macroscópica de las emulsiones formadas. Solamente a aquellas que presentaron estabilidad, se les realizó la prueba del potencial Z.

Tabla 12. Formulación de emulsiones con pectina de sandía y Tween 80.

Código	Tween 80 %	Pectina %	Aceite %	Agua %	OBSERVACIONES
T10P0	10.0	0.0	1.0	89.0	Clara y transparente. Con efecto nube en la superficie después de 24 h.
T9P1	9.0	1.0	1.0	89.0	Clara y transparente.
T8P2	8.0	2.0	1.0	89.0	Clara y transparente.
T7P3	7.0	3.0	1.0	89.0	Lechosa
T6P4	6.0	4.0	1.0	89.0	Lechosa
T5P5	5.0	5.0	1.0	89.0	Lechosa

T4P6	4.0	6.0	1.0	89.0	Lechosa
T3P7	3.0	7.0	1.0	89.0	Lechosa
T2P8	2.0	8.0	1.0	89.0	Lechosa
T1P9	1.0	9.0	1.0	89.0	Lechosa
T0P10	0.0	10.0	1.0	89.0	Turbia por la pectina.
T0P200	0.0	10.0	0.010	90.0	Turbia por la pectina
T9P2	9.0	2.0	1.0	88.0	Clara y transparente
T9P3	9.0	3.0	1.0	87.0	Clara y transparente

Las emulsiones elegidas para realizarles las pruebas de caracterización con la técnica DSL fueron las que presentaron la relación Tween 80 – Pectina 8:2 (T8P2), 9:1 (T9P1), 9:2 (T9P2) y 9:3 (T9P3). Las emulsiones con relación Tween 80 – Pectina 10:0 (T10P0) y 15:0 (T15P0) fueron las de referencia (Figura 17).

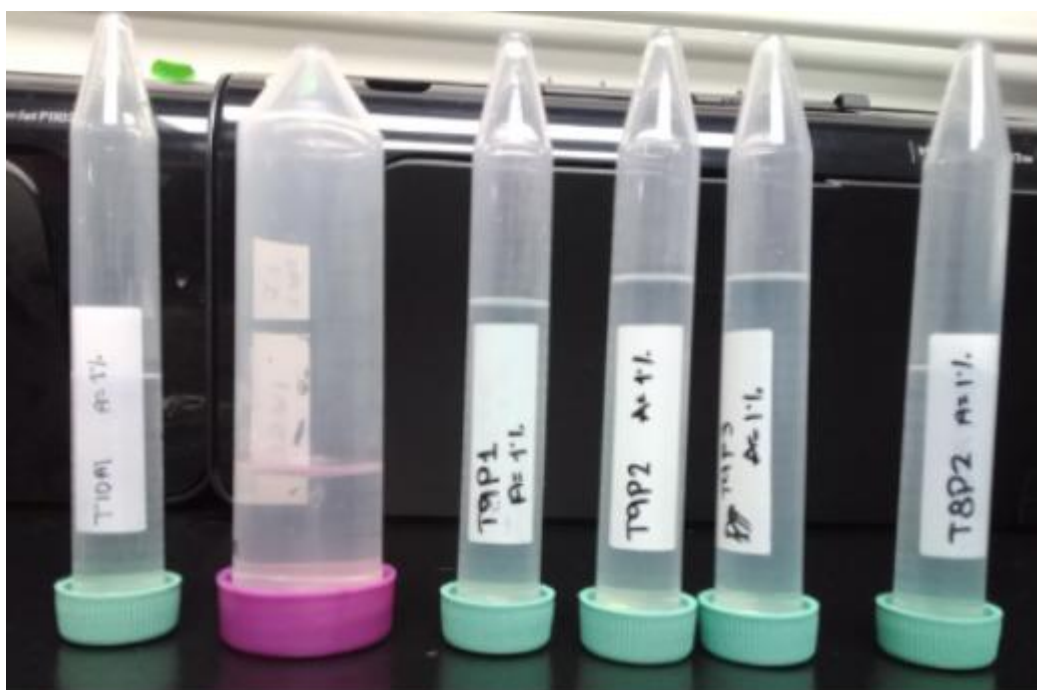


Figura 17. Emulsiones con pectina de sandía y Tween 80.

Los resultados de las pruebas DSL demuestran que, al aumentar la concentración de pectina de sandía, aumentó el tamaño de la micela, así como la polaridad negativa (Tabla

13). Puede sugerirse que la pectina fue parcialmente adsorbida en la interface aceite-agua con su parte hidrófila en la fase continua continua y la hidrófoba en contacto con las gotas de aceite. Estos resultados coinciden con el de Umaña et al., 2021. Además, al compararla con las emulsiones que no tienen pectina (T10P0), se apreció que la movilidad de la micela disminuyó lo que podría atribuirse a la viscosidad que aporta la pectina. Sin embargo, al aumentar la concentración de pectina en las emulsiones con el emulsificante no iónico Tween 80, también aumentó la movilidad. Con esto podría sugerirse que la pectina al estar adsorbida en la superficie de la micela se encuentra en menor proporción como pectina libre en la fase continua, disminuyendo así la viscosidad del medio.

Tabla 13. Resultados de la prueba de potencial Z de emulsiones Tween80-pectina.

	T10P0	T8P2	T9P1	T9P2	T9P3	T15P0
MV(nm):	7.98	8.97	6.69	7.28	9.11	7.02
MN(nm):	6.64	5.74	4.66	4.04	6.89	5.51
MA(nm):	7.44	7.52	5.77	5.72	8.23	6.44
CS:	804.1	797.6	1039	1049	728.9	931.5
Zeta Potential (mv):	94.6	200*	34.4	24.6	39.3	200*
Polarity:	Sin determinar	Positivo	Sin determinar	Positivo	Negativo	Positivo
Mobility (uS/V/cm):	7.39	15.63*	2.69	1.92	3.07	15.63*
Conductivity (uS/cm):	116	114	121	125	115	149
Viscosidad		0.873	0.886	0.89	0.89	0.871
Dia (nm)	7.61	8.08	6.01	6.41	8.61	6.68

*: Fuera de rango

Adicionalmente, se preparó una emulsión con una relación Tween-pectina 9:4 (v/v) pero en su evaluación macroscópica mostró turbidez. Esto significaría que la concentración en la que los emulsificantes saturan la interfase aceite-agua fue con la relación Tween-pectina 9:3. Agregar más pectina desestabilizó la emulsión porque la superficie de las micelas estaba

completamente saturada y no permitió la adsorción del polímero en las micelas. Al cabo de 7 días, las emulsiones fueron evaluadas visualmente y todas presentaron el efecto nube al agitarlas. La más estable siguió siendo la muestra T9P3 cuya representación esquemática se muestra en la Figura 1, donde la superficie saturada de la micela contiene 9 moléculas de Tween 80 y tres de pectina extraída de la cáscara de sandía.

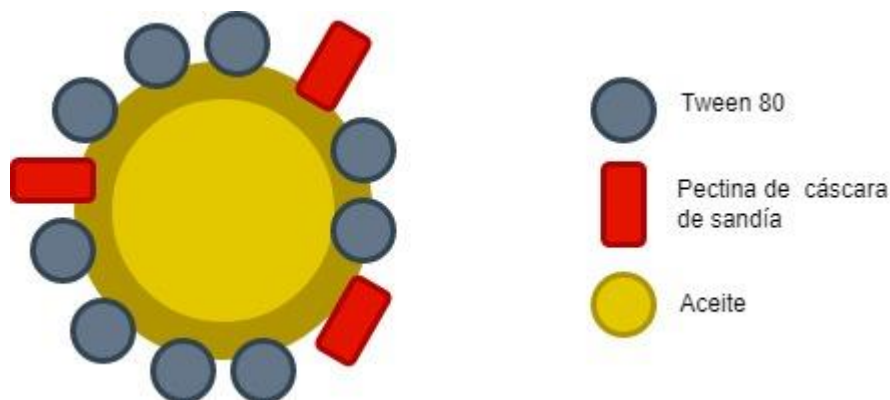


Figura 18. Representación de micela formada con aceite, Tween 80 y pectina.

El tamaño de la micela de la emulsión T9P3 fue de 9.11 nm, similar a la que obtuvo Mendez et al., (2021) al preparar emulsiones con un método de alta energía con la pectina como único emulsificador.

En resumen, la pectina no presentó buenas propiedades emulsificantes cuando fue utilizado como único emulsificante. La técnica de preparación, así como el tipo de aceite empleado podrían ser factores en estos resultados. Sin embargo, emplear la pectina como co-emulsificante permitió el desarrollo de emulsiones moderadamente estables que podrían utilizarse en el desarrollo de productos alimenticios de consumo inmediato o también en productos que tengan la leyenda “Agítese bien antes de usarse”. Además, la pectina redujo

la concentración de Tween 80 en la emulsión, situación favorable para reemplazar productos de origen sintético por naturales.

Capítulo 5 – Conclusiones

La cáscara de sandía es una fuente alternativa de obtención de pectina al ser un residuo generado durante todo el año y en altas cantidades. Además, las características químicas evaluadas demostraron que cuenta con el grado de esterificación ($>50\%$) deseado en las pectinas comerciales y con un grado de impurezas muy por debajo del límite permitido. Asimismo, el espectro infrarrojo valida que la molécula extraída fue pectina. Si bien el peso molecular viscosimétrico se encuentra por debajo del peso de las pectinas comerciales, este no sería un factor limitante en su aplicación industrial, todo dependería del producto que se desee desarrollar.

Las emulsiones preparadas con pectina de cáscara de sandía como emulsificante único, no presentaron la estabilidad deseada para ser utilizadas como productos del sector alimenticio, farmacéutico o cosmético. Estos resultados discrepan con los reportados en otras investigaciones (Mendez et al., 2021; Petkowicz et al., 2017). El grado de esterificación de la pectina de esos estudios es similar a la obtenida en esta investigación. Por tanto, se descarta que sea un factor en la propiedad emulsificante. El peso molecular (pM) también se anula como variable que alterara las propiedades de emulsión debido a que en las pectinas extraídas por Mendez (2021) y Petkowicz (2017) tuvieron un pM muy diferente al compararlas entre ellas, fueron de 106 kg/mol y 34.5 kg/mol respectivamente y, aun así, mencionan que sus emulsiones fueron estables. El método de emulsificación podría ser una variable ya que en sus investigaciones emplearon una técnica de alta energía y en este estudio, se usó una de baja energía. Asimismo, ambos coinciden en que el contenido de proteínas presentes en estas pectinas y su estructura molecular fueron determinantes en las propiedades emulsificantes.

Como continuidad de este proyecto, se propone realizar pruebas de cuantificación de proteínas y de identificación de monosacáridos presentes.

La interacción de pectina extraída de la cáscara de sandía con surfactantes no iónicos no se ha estudiado previamente. En la presente investigación se observó que la pectina es adsorbida en la superficie de la micela al incorporarse en una emulsión que contenga un tensioactivo no iónico, específicamente con Tween 80, siempre y cuando la superficie de la gota no esté completamente saturada con dicho emulsificante. Adicionar un exceso de pectina desestabiliza la emulsión. Por tanto, identificar la relación Tween 80-pectina adecuada para saturar la superficie de la micela resulta importante.

Se ha reportado que modificar la estructura molecular de la pectina o el crear complejos pectina-proteína mejoran notablemente las propiedades emulsificantes. Por tanto, como continuidad de este proyecto, se propone realizar emulsiones con pectinas modificadas en el grado de esterificación, aumentar su grado de acetilación así como elaborar complejos pectina-proteína para mejorar las propiedades emulsificantes.

Referencias

- Adena, S. K. R., Herneisey, M., Pierce, E., Hartmeier, P. R., Adlakha, S., Hosfeld, M. A. I., Drennen, J. K., & Janjic, J. M. (2021). Quality by Design Methodology Applied to Process Optimization and Scale up of Curcumin Nanoemulsions Produced by Catastrophic Phase Inversion. *Pharmaceutics*, 13(6), 880. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13060880>
- Alba, K., & Kontogiorgos, V. (2020). Emulsification Properties of Pectin. En V. Kontogiorgos (Ed.), *Pectin: Technological and Physiological Properties* (pp. 83–97). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53421-9_5
- Badolato, G. G., Aguilar, F., Schuchmann, H. P., Sobisch, T., & Lerche, D. (2008). Evaluation of Long Term Stability of Model Emulsions by Multisample Analytical Centrifugation. En G. K. Auernhammer, H.-J. Butt, & D. Vollmer (Eds.), *Surface and Interfacial Forces – From Fundamentals to Applications* (pp. 66–73). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/2882_2008_076
- Bai, L., Huan, S., Li, Z., & McClements, D. J. (2017). Comparison of emulsifying properties of food-grade polysaccharides in oil-in-water emulsions: Gum arabic, beet pectin, and corn fiber gum. *Food Hydrocolloids*, 66, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.019>
- Belkheiri, A., Forouhar, A., Ursu, A. V., Dubessay, P., Pierre, G., Delattre, C., Djelveh, G., Abdelkafi, S., Hamdami, N., & Michaud, P. (2021). Extraction, Characterization, and Applications of Pectins from Plant By-Products. *Applied Sciences*, 11(14), 6596. <https://doi.org/10.3390/app11146596>

- Bochek, A. M., Zabivalova, N. M., & Petropavlovskii, G. A. (2001). *Determination of the Esterification Degree of Polygalacturonic Acid*. 74(5), 4.
- Bullon, J., Forgiarini, A., & Marquez, R. (2007). *Emulsiones parenterales*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1242.4086>
- Dickinson, E. (2009). Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1473–1482. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.08.005>
- Hosseini, A., Jafari, S. M., Mirzaei, H., Asghari, A., & Akhavan, S. (2015). Application of image processing to assess emulsion stability and emulsification properties of Arabic gum. *Carbohydrate Polymers*, 126, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.020>
- Kale, S. N., & Deore, S. L. (2016). Emulsion Micro Emulsion and Nano Emulsion: A Review. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 8(1), 39–47. <https://doi.org/10.5530/srp.2017.1.8>
- 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*, 23(4), 942. <https://doi.org/10.3390/molecules23040942>
- Lee, K. Y., & Choo, W. S. (2020). Extraction Optimization and Physicochemical Properties of Pectin from Watermelon (*Citrullus lanatus*) Rind: Comparison of Hydrochloric and Citric acid Extraction. *Journal of Nutraceuticals and Food Science*, 5(1). <https://doi.org/10.36648/nutraceuticals.5.1.1>
- Mayer, S., Weiss, J., & McClements, D. J. (2013). Vitamin E-enriched nanoemulsions formed by emulsion phase inversion: Factors influencing droplet size and stability. *Journal of Colloid and Interface Science*, 402, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.04.016>

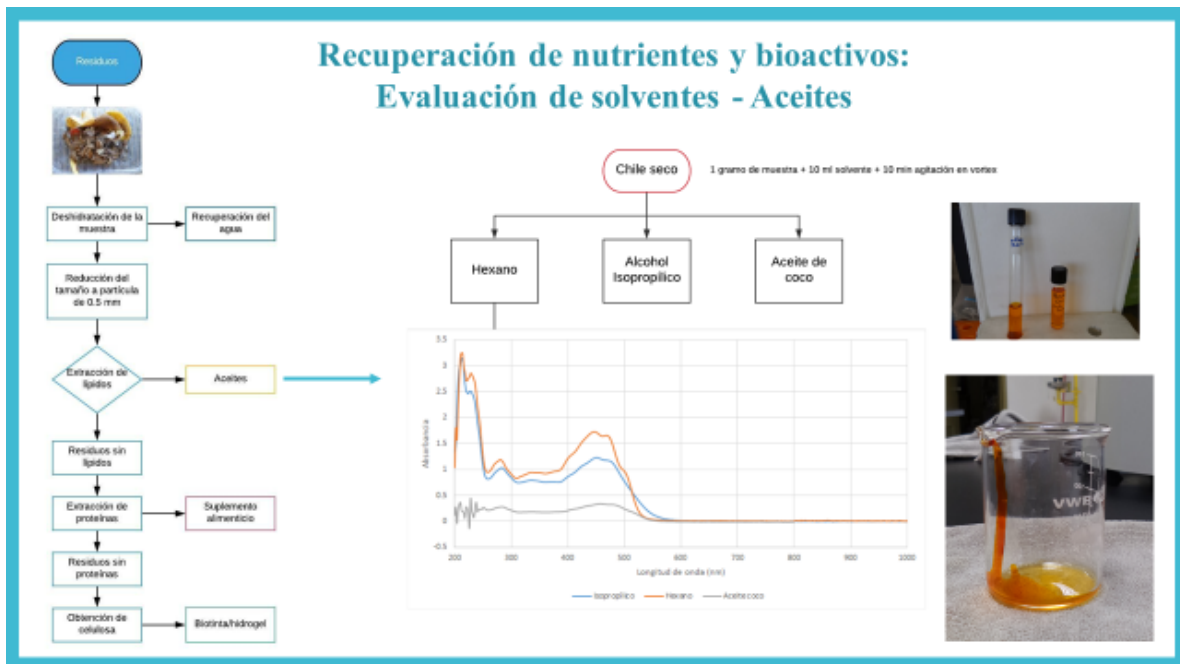
- McClements, D. J. (2004). *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques, Second Edition*. CRC Press.
- McClements, D. J., & Jafari, S. M. (2018). Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 251, 55–79. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2017.12.001>
- Mendez, D. A., Fabra, M. J., Martínez-Abad, A., Martínez-Sanz, M., Gorria, M., & López-Rubio, A. (2021). Understanding the different emulsification mechanisms of pectin: Comparison between watermelon rind and two commercial pectin sources. *Food Hydrocolloids*, 120, 106957. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106957>
- Migliori, M., Gabriele, D., Checchetti, A., & Battipede, B. (2010). Compatibility analysis of pectin at different esterification degree from intrinsic viscosity data of diluted ternary solutions. *Reactive and Functional Polymers*, 70(10), 863–867. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2010.07.011>
- Nelson, D. L., Lehninger, A. L., & Cox, M. M. (2013). *Lehninger principios de bioquímica*. Omega.
- Pathak, M. (2017). Chapter 5—Nanoemulsions and Their Stability for Enhancing Functional Properties of Food Ingredients. En A. E. Oprea & A. M. Grumezescu (Eds.), *Nanotechnology Applications in Food* (pp. 87–106). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811942-6.00005-4>
- Pérez, J., Gómez, K., & Vega, L. (2022). Optimization and Preliminary Physicochemical Characterization of Pectin Extraction from Watermelon Rind (*Citrullus lanatus*) with Citric Acid. *International Journal of Food Science*, 2022, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2022/3068829>

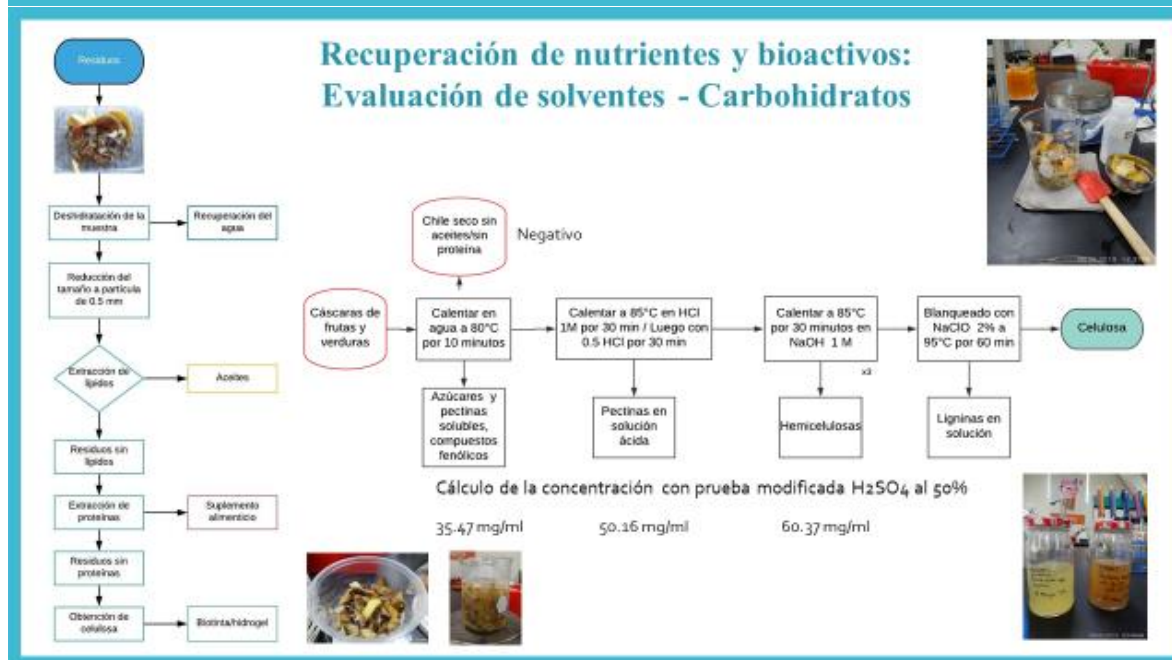
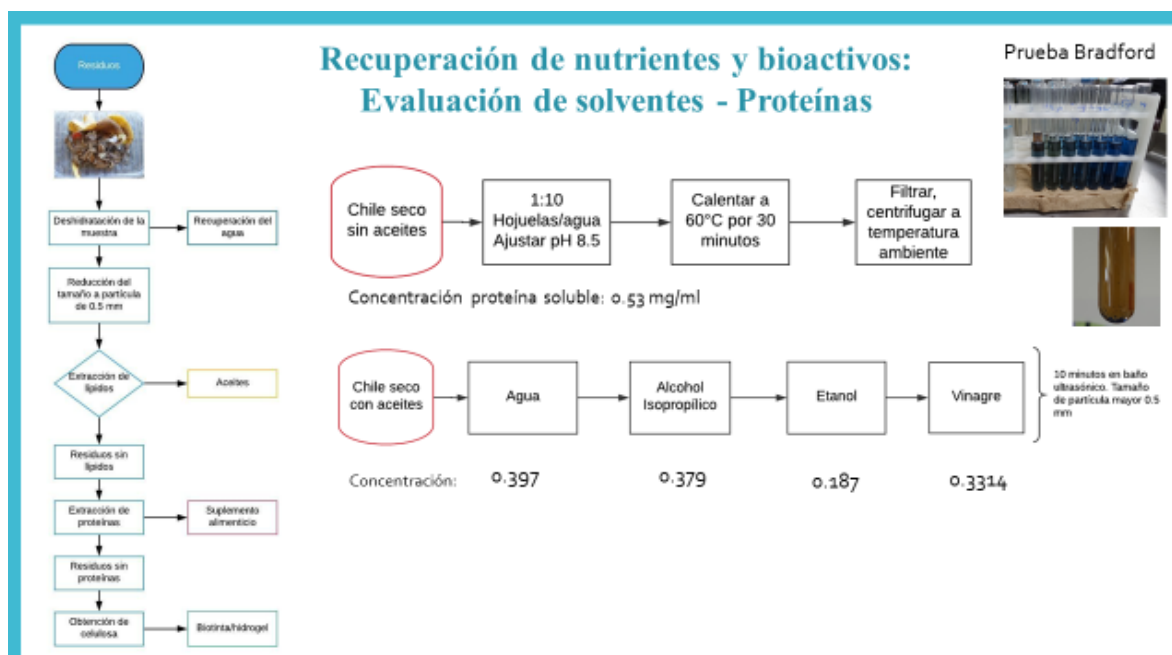
- Petkowicz, C. L. O., Vriesmann, L. C., & Williams, P. A. (2017). Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin. *Food Hydrocolloids*, 65, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.10.040>
- Plantz, P. E. (s/f). *Explanation of Data Reported by Microtrac Instruments*. 7.
- Roldan-Cruz, C., Vernon-Carter, E. J., & Alvarez-Ramirez, J. (2016). Assessing the stability of Tween 80-based O/W emulsions with cyclic voltammetry and electrical impedance spectroscopy. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 511, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2016.09.074>
- Silva, H. D., Cerqueira, M. Â., & Vicente, A. A. (2012). Nanoemulsions for Food Applications: Development and Characterization. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 854–867. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0683-7>
- Umaña, M., Turchiuli, C., Eim, V., Rosselló, C., & Simal, S. (2021). Stabilization of oil-in-water emulsions with a mushroom (*Agaricus bisporus*) by-product. *Journal of Food Engineering*, 307, 110667. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110667>
- Voragen, A. G. J., Coenen, G.-J., Verhoef, R. P., & Schols, H. A. (2009). Pectin, a versatile polysaccharide present in plant cell walls. *Structural Chemistry*, 20(2), 263–275. <https://doi.org/10.1007/s11224-009-9442-z>

Anexos

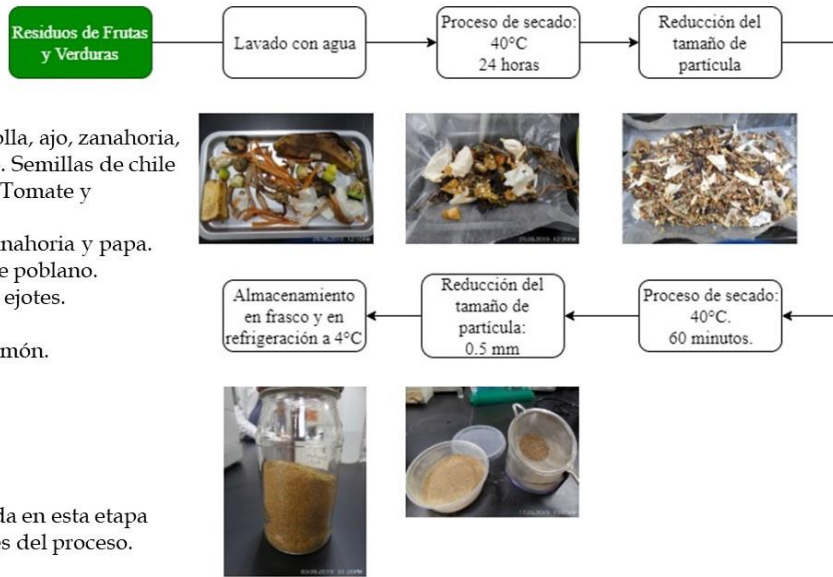
En esta sección se presenta a modo de antología, actividades realizadas durante la investigación que fueron descartadas por diversos motivos. También, se adjuntan comprobantes de actividades de divulgación en las que participé durante el periodo de la investigación.

A1 – Actividades descartadas





Pretratamiento



Extracción de aceites – Evaluación de tiempo en baño ultrasónico

Sustrato

Residuos mixtos de frutas y verduras (Lote A).
Cantidad: 1 gramo.

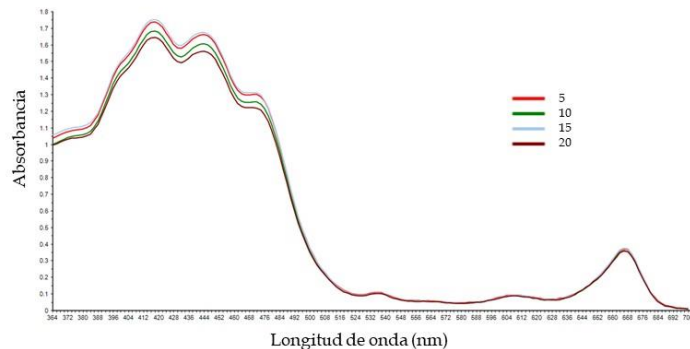
Solvente

Alcohol isopropílico.

Proceso

Temperatura: 25°C
Relación sólido-líquido: 1:10.
Tiempos: 5, 10, 15 y 20 minutos.

Elección: 15 minutos.



Extracción de aceites

Sustrato

Residuos mixtos de frutas y verduras (Lote A).
Cantidad: 5 gramos.

Solvente

Alcohol isopropílico.

Técnica

Baño ultrasónico

Proceso

Temperatura: 25°C

Tiempo: 15 minutos.

Relación sólido-líquido: 1:10 primer extracto
1:5 segundo
1:2.5 tercero y cuarto.



Observaciones

- Se utilizaron 100 ml de Alcohol isopropílico.
- Se recuperaron 82 ml del alcohol.
- El matraz permaneció en la incubadora a 40°C por 24 horas para eliminar el alcohol restante.
- Se obtuvieron 1.01 gramos de aceite, equivalente al 20.2% de la muestra.

Extracción de aceites

Sustrato

Residuos mixtos de frutas y verduras (Lote A).
Cantidad: 30 gramos.

Solvente

Alcohol isopropílico.

Técnica

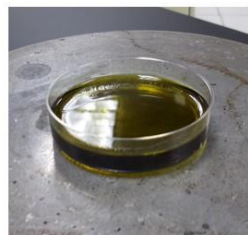
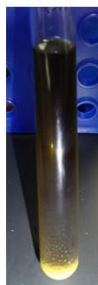
Baño ultrasónico

Proceso

Temperatura: 25°C

Tiempo: 15 minutos.

Relación sólido-líquido: 1:2.
4 extracciones.



Se recuperaron 2.67 g de aceite.



Se obtuvieron 0.73 g.

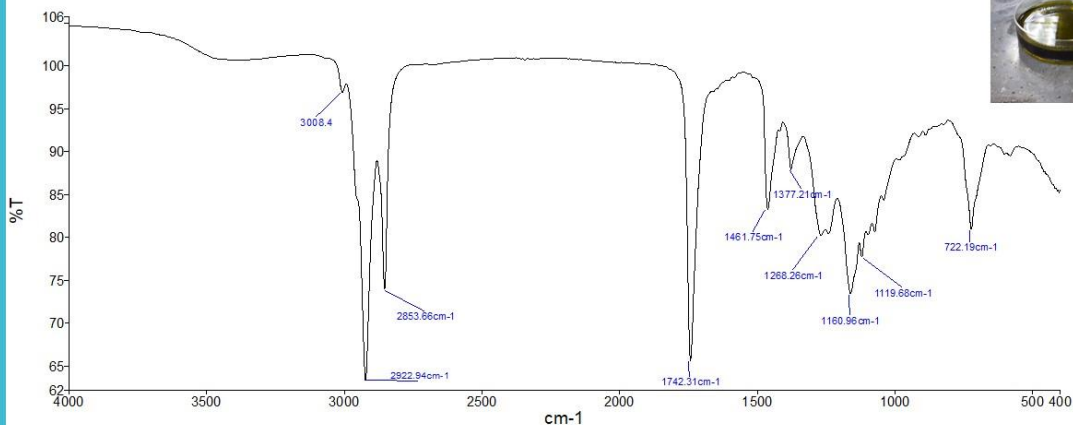
Observaciones

En total se utilizaron 250 ml del alcohol.

Se recuperó el 80% del alcohol.

Se obtuvieron 3.408 g de lípidos (10.65% de la muestra).

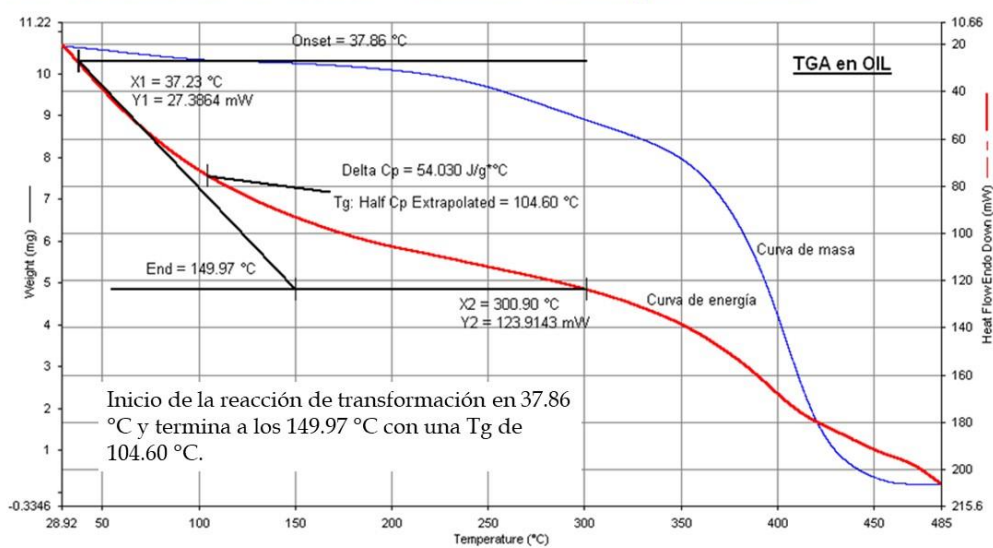
Caracterización de aceites - FTIR



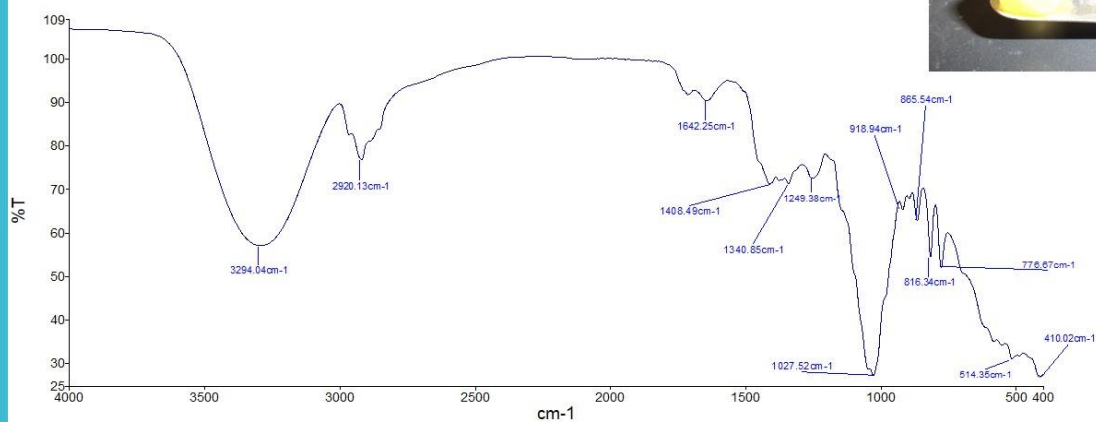
Densidad
0.8519 g/ml

FTIR
Comparativo: Tipo aceite de ricino.

Caracterización de aceites – Análisis Termogravimétrico



Caracterización de aceites - FTIR



FTIR

Comparativo: Posible Tíol

Extracción de aceites esenciales con hidrodestilación



Residuos mixtos de frutas y verduras

Resultados:

No se obtuvieron aceites esenciales.

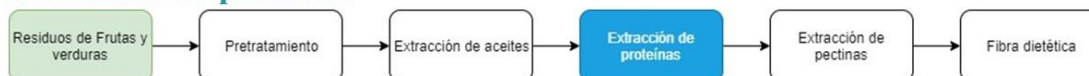


Recolección del hidrolato



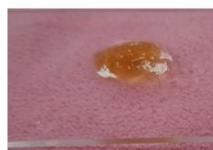
Recolección del condensado

Extracción de proteínas



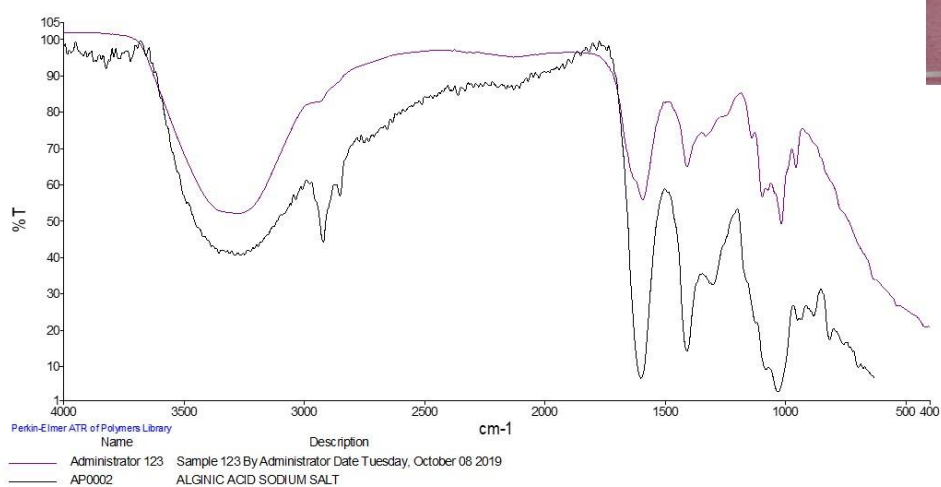
Sustrato

Residuos mixtos de frutas y verduras (sin aceites).
Cantidad: 3.5 gramos.



Técnica	Solvente	Tiempo	Resultado	Observaciones
Baño ultrasónico	Buffer fosfatos pH 7.4	30 minutos.	Negativo	El pH final fue de 5.6
Agitación magnética, baño maría.	Buffer fosfatos pH 7.4	60 minutos.	Negativo	El pH final fue de 5.2
Agitación magnética, baño maría.	Buffer de carbonatos pH 10	60 minutos.	Negativo	El pH final fue de 9.2
Agitación magnética, baño maría.	Solución de NaOH 1 M, más adición de NaOH 0.1 M para ajuste de pH. pH inicial = 11.	60 minutos.	Negativo	El pH final fue de 5.3

Caracterización de proteínas - FTIR

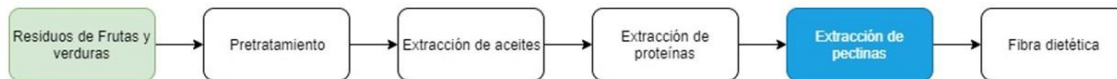


FTIR

Comparativo: Alginato de sodio.

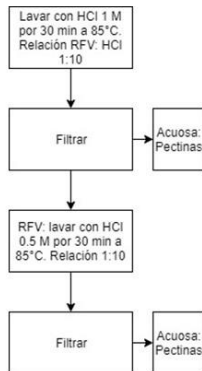


Extracción de pectinas



Sustrato

Residuos mixtos de frutas y verduras (sin aceites, sin proteína). Cantidad: 2 gramos.



Caracterización con FTIR:
Negativa
Prueba con EDX: Sales de Cl

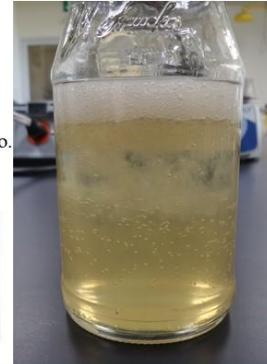
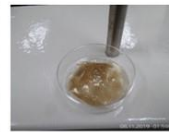
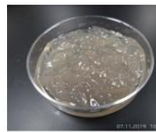


Sustrato

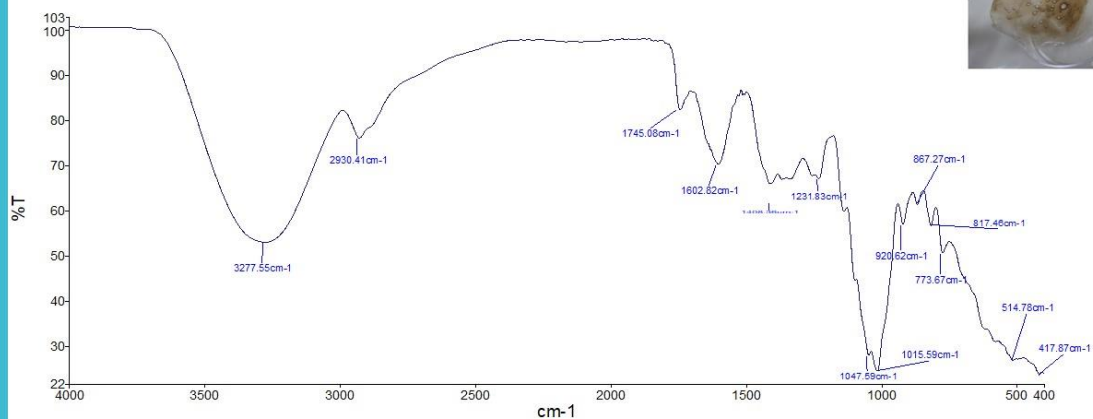
Condensado, residuo de la hidrodestilación.
Cantidad: 100 ml.

Solución de ácido cítrico 0.03 M
pH = 1.8
Temperatura = 75°C
Agitación magnética, 60 minutos.
Filtrar y repetir.

Al sobrenadante, agregar etanol absoluto.
Relación 1:1 (v:v).



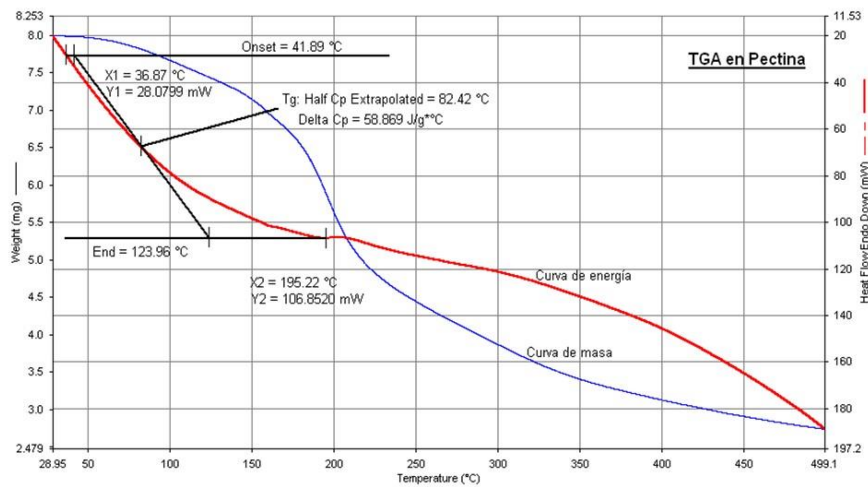
Caracterización de pectinas - FTIR



FTIR

Comparativo: No en biblioteca Perkin- Elmer

Caracterización de pectinas – Análisis Termogravimétrico



Tiene un inicio de la reacción de transformación de 41.89 °C y termina a los 123.96 °C con una Tg de 82.42 °C.

Caracterización de pectinas – Humedad

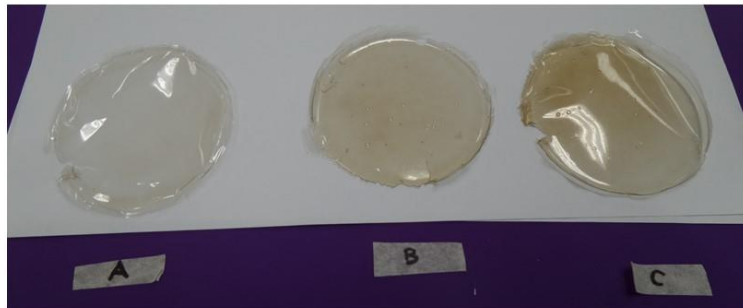
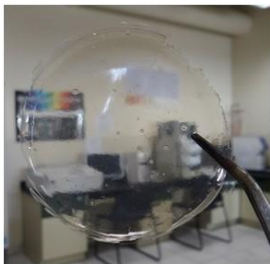
Muestras:

- A. 5 gramos del biopolímero (gel).
- B. 10 gramos del gel.
- C. 15 gramos del gel.

Secado a 40°C por 24 horas.

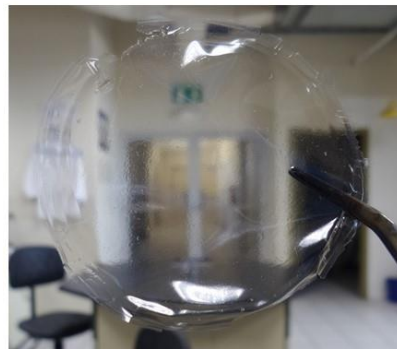
Resultados:

% Humedad = 96%.

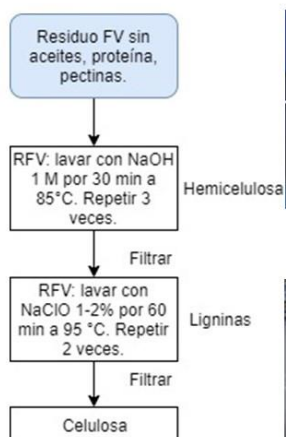


Propiedades de pectinas

Se tomaron 0.1205 g de la primer biopelícula obtenida.
Se disolvieron en 5 ml de agua destilada en agitación magnética durante 15 minutos.
Incubadora a 40°C por 24 horas.



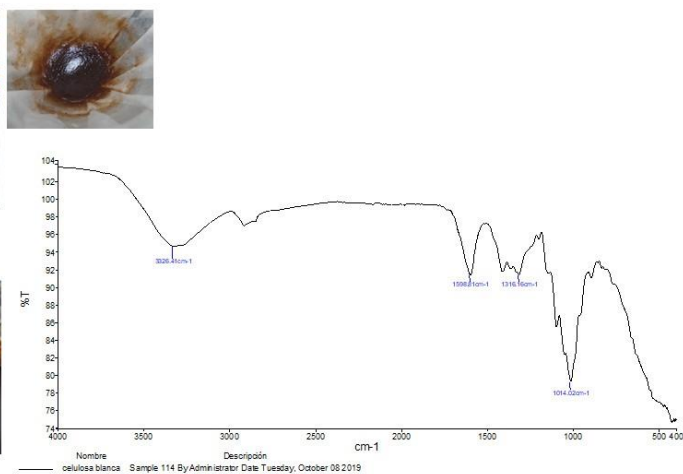
Obtención de celulosa



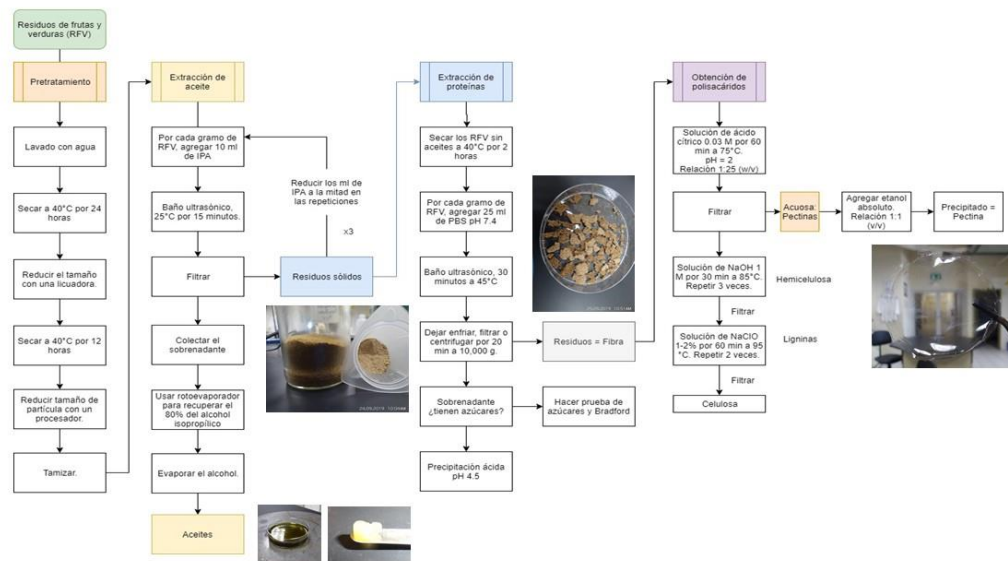
Hemicelulosa



Ligninas



Esquema de la biorrefinería de residuos de frutas y verduras



Elaboración de pasta y tortillas integrales



Valorización de los residuos de la extracción por arrastre de vapor

Los residuos generados en la extracción de aceites esenciales por medio de la destilación por arrastre de vapor, son descartados al finalizar el proceso.

Se evaluaron los residuos líquidos (agua residual del tanque (B) e hidrolato (D)), así como los sólidos (A), para determinar la viabilidad de ser utilizados en el proceso de obtención de la película.



A: Tanque, B: Recolección del agua residual, C: Recolección del aceite esencial, D: Recolección del hidrolato.

Residuos sólidos (A)



Residuos líquidos:

Agua residual del tanque (B) Hidrolato (D)



Valorización de los residuos de la extracción por arrastre de vapor

Residuos Sólidos – Bagazo de limón (A)

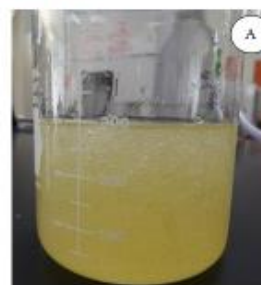
Se evaluó el bagazo de limón utilizado en la extracción del aceite esencial.

Nota 1: Los residuos fueron donados por el Dr. Conrado.

La muestra fue sometida al siguiente procedimiento:

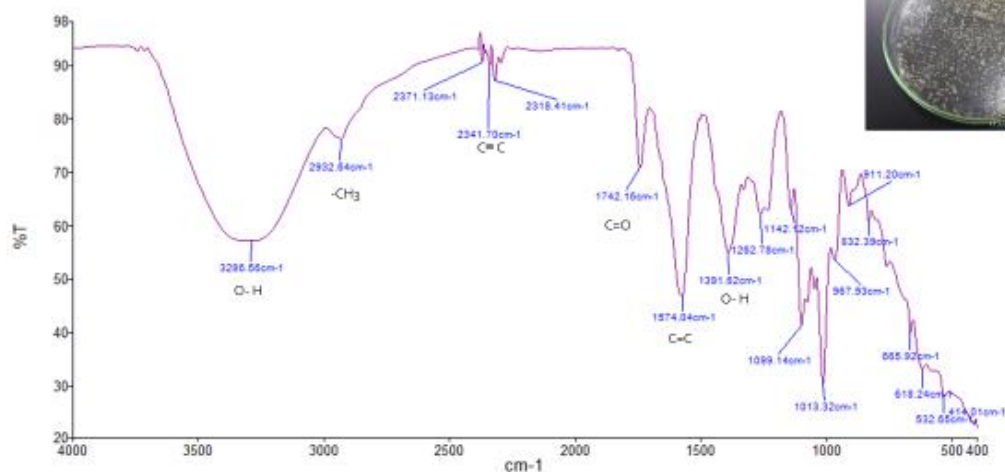
1. 5 g de residuo, previamente secado y triturado.
2. 125 ml de ácido cítrico 0.05 M, pH 2.6.
3. Calentar a 75°C por 1 h con agitación magnética.
4. Filtrar para separar los residuos sólidos de los líquidos.
5. Adición de etanol al 96%, relación 1:1 (v/v) a la fracción líquida.
6. Reposo por 18 horas en refrigeración a 4°C.
7. Filtración con un colador de malla fina.
8. Colocación del gel obtenido en caja Petri.
9. Secado en incubadora a 50°C por 36 horas.

Rendimiento: 20.74%



A) Gel formado al adicionar etanol a la solución. B) Film obtenido

Residuo sólido: FTIR – Film obtenido del bagazo de limón



57.44% similar al acetato de potasio (biblioteca Perkin-Elmer).

Valorización de los residuos de la extracción por arrastre de vapor

Residuos líquidos - Agua residual del tanque (B)

Se evaluaron cuatro aguas residuales resultantes de la extracción de aceite esencial de limón, neem, eucalipto y laurel. Las aguas residuales fueron colectadas del tanque del equipo de destilación.

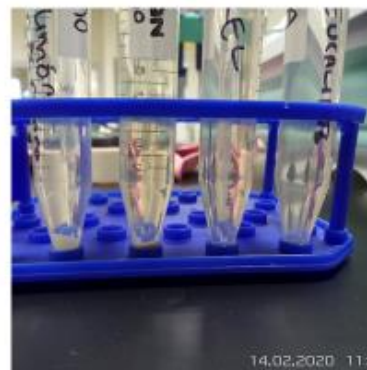
Nota 1: Las aguas residuales fueron donadas por el Dr. Conrado y por Kristel Angulo.

Cada muestra fue sometida al siguiente procedimiento:

1. 5 ml del agua residual, previamente filtrado.
2. 25 ml de ácido cítrico 0.05 M.
3. Calentar a 75°C por 1 hr con agitación magnética.
4. Se adicionó 5 ml de etanol al 96%.
5. Se dejaron 18 horas en refrigeración a 4°C.
6. Centrifugar a 4°C a 14000rpm

Tabla 1. Fuente del agua residual y sus características.

Fuente	pH inicial	Formación de gel	Rendimiento
Limón	3.01	Sí	1%
Neem	5.9	No	-
Eucalipto	5.9	No	-
Laurel	6	No	-



Muestras al finalizar paso 6. De izquierda a derecha: Limón, neem, laurel, eucalipto.

Nota 2: El experimento se realizó por duplicado. En una tercer corrida, se eliminaron los pasos 2 y 3. No se presentaron cambios en los resultados mostrados en la tabla 1.

Extracción del polisacárido con baño ultrasónico

Sustrato

Bagazo de limón, residuo de la extracción por arrastre de vapor.

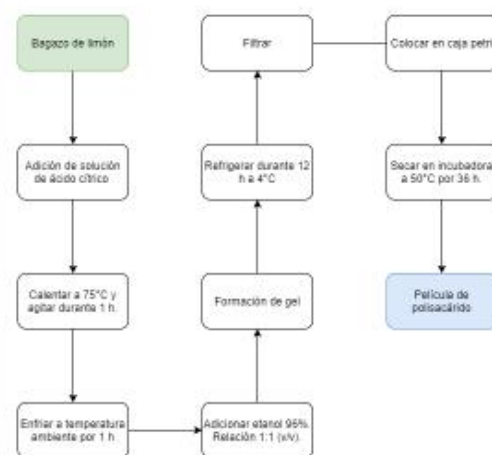
La muestra fue sometida al siguiente procedimiento:

1. 5 g de residuo, previamente secado y triturado.
2. 125 ml de ácido cítrico 0.05 M. pH 2.6.
3. Baño ultrasónico a 40°C por 15 o 30 min.
4. Adición de etanol al 96%. Relación 1:1 (v/v).
5. Reposo por 18 horas en refrigeración a 4°C.
6. Filtración con un colador de malla fina.
7. Colocación del gel obtenido en caja Petri.
8. Secado en incubadora a 50°C por 36 horas.

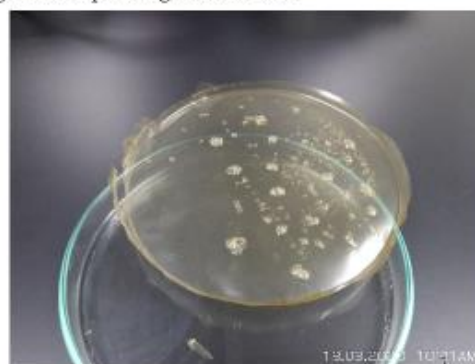
Método	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Rendimiento (%)
Ultrasónico	15	40	11.42%
Ultrasónico	30	40	12.6%
Parrilla eléctrica	1	75	20.74%

Nota: La temperatura dentro del vaso de precipitado no alcanzó los 40°C durante el proceso. Se recomienda realizar de nuevo el experimento donde, previamente, se caliente la solución hasta la temperatura deseada para observar si aumenta el rendimiento.

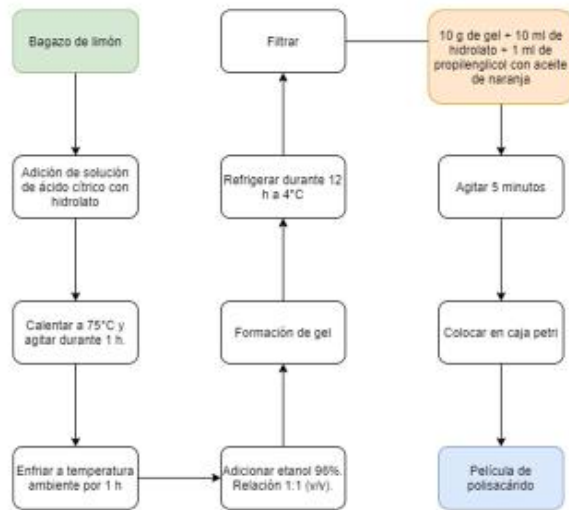
Incorporación de los residuos de la extracción del aceite esencial de limón en el proceso de obtención de la película polisacárida.



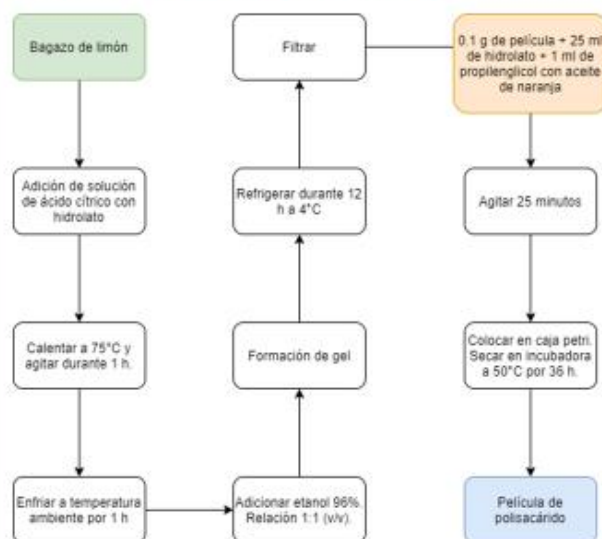
La solución de ácido cítrico 0.05 M, utilizada en el proceso de extracción del polisacárido, fue elaborada con el hidrolato (agua residual del condensador) en lugar de emplear agua destilada.



Formulación de la película: Adición de polietilenglicol al gel



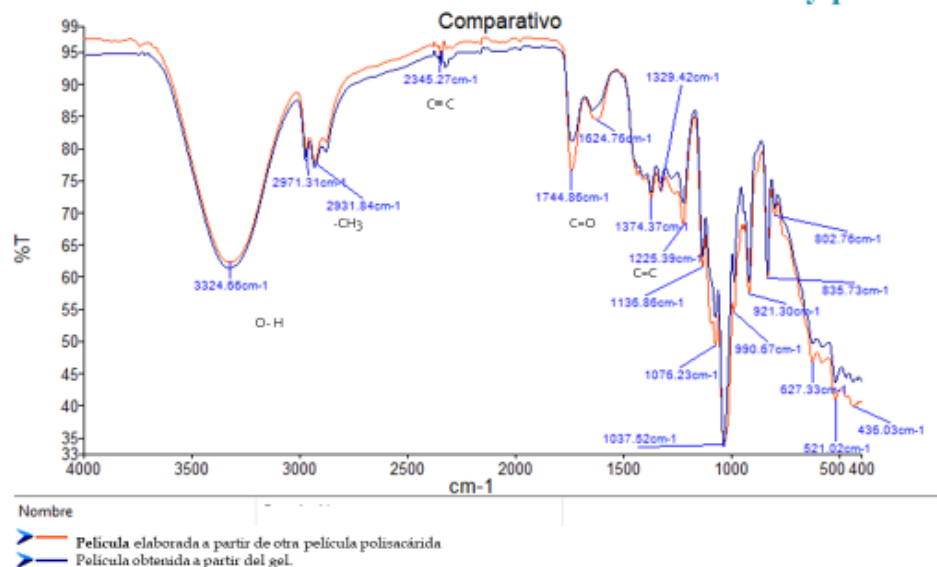
Obtención de una película a partir de otra



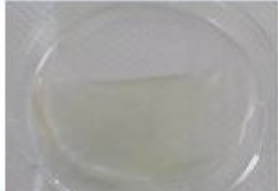
Prueba para determinar la resistencia. Se rompió al colocar una pesa de 30 gramos.

Nota: Se elaboró otra película con 0.5g. en lugar de 0.1 g. Se obtuvo espectro IR, aunque no se le realizó pruebas de resistencia.

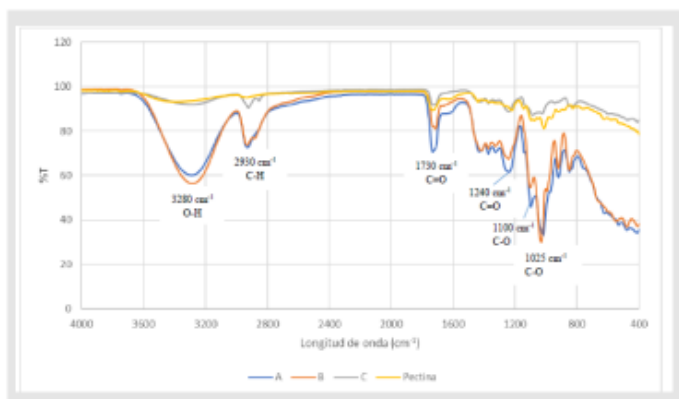
Caracterización FTIR – Películas con hidrolato del limón y polietilenglicol



Formulación y elaboración de películas

ID Película	Película A	Película B	Película C
Polisacárido	20 ml al 2% p/v	20 ml al 1% p/v	20 ml al 1.3% p/v
PVA	10 ml al 2% p/v	10 ml al 2% p/v	10 ml al 4% p/v
Glicerol	0.45 ml	0.45 ml	-
Preparación	Mezclar el polisacárido y PVA a 75°C por 2 h. Luego añadir el glicerol. Agitar por 20 min. Verter 25 ml en caja Petri. Secar a 55°C por 16 h.		
Imagen			

Pruebas: FTIR



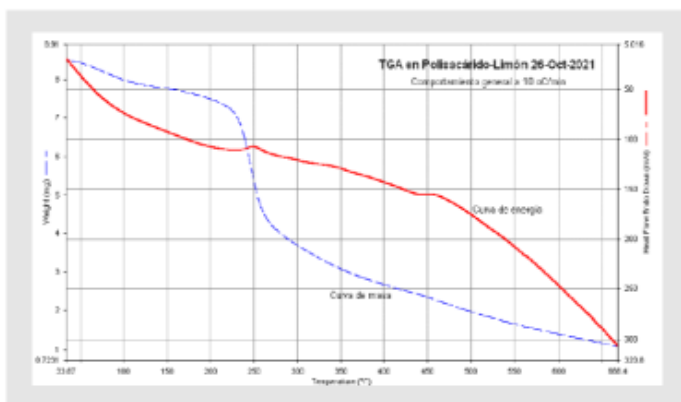
Fracasso, A. F. (2018). Chemical modification of citrus pectin: Structural, physical and rheological implications. *International journal of biological macromolecules*, 109, 784-792. doi:10.1016/j.ijbmac.2017.11.060

Tanto las películas como la pectina presentaron pico en 2930 cm^{-1} asociado al estiramiento de los enlaces C-H, lo cual es indicativo de la presencia de $-\text{CH}_2$ y $-\text{CH}_3$ metil ésteres del ácido galacturónico (Fracasso, 2018).

Los picos en 1730 cm^{-1} y en 1240 cm^{-1} presentes en los cuatro espectros consisten en el estiramiento del enlace C=O, el primero asociado al grupo éster y el segundo a los ácidos carboxílicos. Por último, los picos en 1100 cm^{-1} y 1025 cm^{-1} pertenecen al estiramiento o flexión del enlace C-O asociados a los enlaces glucosídicos.

Basados en los espectros FTIR de las películas, se concluye que la pectina extraída de la cáscara de limón se integró de manera homogénea y, por tanto, es apta para utilizarse en el desarrollo de películas.

Prueba termogravimetría (TGA)



- La relación de la disminución de la masa de la pectina al aumentar la temperatura fue determinada con la prueba TGA.
- Se presentaron cambios significativos.
 - Primero: 40-200°C debido a la evaporación del agua presente en la muestra.
 - Segundo: 200 a 400°C donde se presentó una reducción de la masa rápida del 50% debido a la descomposición de los polisacáridos.
 - Tercero: 300 – 600°C se observó una pérdida de masa lenta.
- Los resultados coinciden con los reportados en otro estudio (Güzel, 2019).

Güzel, M. a. (2019). Valorisation of fruit by-products: Production characterization of pectin from fruit peels. *Food and Bioproducts Processing*, 115, 126-133.

A2 – Divulgación







INSTITUTO DE INGENIERÍA
EXCELENCIA E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA

Otorgan el presente

Reconocimiento

a: Olivia Flores Peñaloza

Por formar parte del Comité Organizador del Global Women's Breakfast: Empowering Women in Chemistry, en el marco de las celebraciones del Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos.



Dr. Mario Alberto Curiel Álvarez
Director Instituto de Ingeniería



Dra. Mónica Carrillo Beltrán
Coordinadora-Mexicali

ATENTAMENTE
"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE"
Mexicali, Baja California, 16 de mayo de 2018



Divulgación



Nota completa en:

http://gaceta.uabc.mx/node/16583?fbclid=IwAR1oE6pXSdW2qU2mKw1g8XMYVJ7L_zv2Nfeus_fiiwqXqLYgxafRo5n62U

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES:	CARRILLO BELTRAN MONICA FLORES PEÑALOZA OLIVIA
TITULO:	DATABASE OF RESEARCH ARTICLES RELATED TO THE RECOVERY OF FOOD WASTE
RAMA:	COMPILACION DE DATOS (BASE DE DATOS)
TITULAR:	UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL ART. 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 107 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las bases de datos o de otros materiales legibles por medio de máquinas o en otra forma, que por razones de selección y disposición de su contenido constituyan creaciones intelectuales, quedarán protegidas como compilaciones. Dicha protección no se extenderá a los datos y materiales en sí mismos.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas constan, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2019-032810013300-01

México D.F., a 4 de abril de 2019

SUBDIRECTOR DE REGISTRO DE OBRAS Y CONTRATOS

DANIEL RAMOS LOPEZ

SECRETARÍA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DEL
DERECHO DE AUTOR
DIRECCIÓN DE REGISTRO PÚBLICO
DEL DERECHO DE AUTOR

Academia de la OMPI

CERTIFICADO

Por el presente se certifica que

Olivia Flores Peñaloza

ha completado satisfactoriamente
el curso de enseñanza a distancia titulado

CURSO GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Impartido del 2 de abril al 19 de mayo de 2019



Sherif Saadallah
Director Ejecutivo
Academia de la OMPI