



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Formulación de un barniz de uñas a partir de una dispersión de poliestireno reciclado como agente formador de película utilizando Miristato de Isopropilo y *Tea Tree Oil* como plastificantes.

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN FARMACIA

P R E S E N T A :

ANDREA FLORES ROJAS

ASESOR: DR. LUIS EDUARDO SERRANO MORA

COASESOR: DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme la oportunidad de aprender y desarrollarme en su entorno, por todas las enseñanzas que me ofreció desde mi estancia en el nivel medio superior, las cuales me ayudaron a crecer como persona y que siempre llevaré conmigo.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, por ser un segundo hogar, donde pude conocer a personas maravillosas y vivir experiencias inolvidables en los ámbitos académico y social.

A mi asesor, el Dr. Luis Eduardo Serrano Mora y mi coasesor el Dr. David Quintanar Guerrero, por su apoyo y paciencia brindadas durante la realización de este proyecto.

A mi jurado, por el tiempo que dedicaron a mejorar este proyecto y por sus valiosas recomendaciones.

DEDICATORIAS

A Queta, mi mamá, por su amor y apoyo durante toda mi trayectoria escolar, por ser mi maestra de vida y enseñarme cómo enfrentarla con fortaleza y valentía. Te agradezco cada sacrificio que hiciste durante tantos años, las desveladas, el soporte, el cuidado tan cálido que me brindaste, por siempre procurarme, y darme todo lo que tenías, incluso cuando eso significaba quedarte sin nada, solo para que yo pudiera tener el privilegio de estudiar y tener una carrera. Gracias por educarme con los valores que heredaste de mis abuelos, por darme las lecciones más significativas, y por formar en mí la persona que soy hoy. Llevaré por siempre en mi corazón nuestras risas, tus palabras de consuelo en los momentos difíciles, la manera en que celebraste mis logros y me levantaste en mis caídas. Pero, sobre todo, nunca olvidaré tu apoyo incondicional. No me cansaré de repetir que todo lo que soy es por ti. Espero te sientas orgullosa de lo que hemos conseguido juntas hasta ahora y sepas que todo ha valido completamente la pena. Te dedico este gran logro a ti.

A mi hermana Viri, por ser mi hermana mayor y ser siempre mi ejemplo para seguir. Estaré eternamente agradecida por transmitirme esas ganas de estudiar y de ser parte de la universidad más importante del país. Gracias ayudarme a descubrir el mundo cuando era una niña pequeña, por tomar mi mano para guiarme y ayudarme a entender lo que aún no podía. En mi corazón guardo cada conversación en la que me hablaste para no rendirme, y todos los consejos que me has dado a lo largo del camino. No sabes cuánto te admiro.

A Sam, mi hermana menor, por ser siempre mi rayito de luz, mi persona ancla. Tú me has enseñado a ver la vida con amor y con compasión. Te agradezco por permitirme ser tu guía en los momentos que lo necesitas, quiero que sepas que siempre tendrás mi apoyo incondicional y te escucharé cuando lo necesites, no importa donde este. Gracias por llenar mi vida con tu alegría y tus ocurrencias. Espero que, con este logro, pueda ser un ejemplo para ti.

Para las tres, Dios me dio las mejores compañeras de vida, las amo.

A Miranda, sin ti esto no podría ser posible. Fuiste mi compañera de equipo durante toda la carrera y ahora eres mi compañera de aventuras siendo ya egresadas. Gracias por ayudarme a desarrollar este proyecto, por dedicarle tiempo y esfuerzo. Esta tesis no existiría sin ti. No podría estar más agradecida con la universidad, y con la vida, por ponerme en mi camino a una persona como tú. Pero más allá de la universidad, gracias por los momentos de felicidad, las fiestas, el estudiar juntas, las risas y también por las lágrimas que hemos compartido. Gracias por abrirme las puertas de tu casa y de tu corazón. Y, sobre todo, gracias por permitirme ser tu mejor amiga. Este logro va por las dos. Love you so much.

A mis amigos de la carrera, gracias por las platicas entre pasillos, las risas, fiestas y todos los momentos que compartimos. Hicieron de esta etapa de las mejores de mi vida.

A Lau, Lalito y el Ing. Eduardo, por su apoyo para poder hacer la tesis y por haber sido una guía fundamental para mi desarrollo profesional. Los admiro profundamente y valoro cada enseñanza que me han compartido; cada día aprendo algo nuevo de ustedes. Gracias por confiar en mí.

CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	1
INDICE DE FIGURAS.....	2
ABREVIATURAS	3
I. RESUMEN.....	4
II. INTRODUCCIÓN	5
III. MARCO TEÓRICO	6
3.1 POLIESTIRENO	6
3.1.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO	6
3.1.1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN.....	7
3.1.1.2.1 PREEXPANSIÓN.....	7
3.1.1.2.2 MADURACIÓN	7
3.1.1.2.3 MOLDEO FINAL	7
3.1.1.3 IMPACTO AMBIENTAL	8
3.1.1.4 RECICLAJE DEL EPS	9
3.2. QUIMICA VERDE	10
3.2.1. PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA VERDE.....	11
3.2.2 <i>UPCYCLING</i>	12
3.3 PELÍCULAS	12
3.3.1 FORMACIÓN DE PELÍCULA.....	13
3.3.1.1 MECANISMO DE FORMACIÓN	13
3.4 BARNIZ DE UÑAS	15
3.4.1 CARACTERÍSTICAS	15
3.4.2 INGREDIENTES	16
3.4.2.1 FORMADOR DE PELÍCULA	16
3.4.2.2 RESINAS	17
3.4.2.3 PLASTIFICANTES	17
3.4.2.4 DISOLVENTES	18
3.4.2.5 PIGMENTOS	20
3.4.3 DESVENTAJAS DEL USO DE NITROCELULOSAS	22

3.4.4 EVALUACIÓN DE LA FORMULACIÓN	23
3.5 TEE TREE OIL (TTO).....	23
3.5.1 EFECTOS ANTIFÚNGICOS.....	24
3.5.1.1 MECANISMO DE ACCIÓN ANTIFÚNGICO	25
3.5.2 ACTIVIDAD ANTIBACTERIAL	26
IV. HIPÓTESIS	28
V. OBJETIVOS	28
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	28
5.2. OBJETIVOS PARTICULARES	28
VI. MATERIALES Y EQUIPO	29
6.1 MATERIALES	29
6.2 EQUIPO	29
I. METODOLOGÍA	30
7.1 DENSIFICACIÓN DEL POLIESTIRENO	31
7.2 DISPERSIÓN	31
7.3 ADICIÓN DE PLASTIFICANTES Y PIGMENTOS	31
7.3.1. VISCOSIDAD	32
7.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS PELÍCULAS	32
7.4.1 ADHESIÓN	32
7.4.2 PÉRDIDA DE PLASTIFICANTES POR SECADO	32
7.4.3 MICROSCOPIA DIFERENCIAL DE BARRIDO	32
VIII. RESULTADOS Y ANÁLISIS	33
8.1 DENSIFICACIÓN POLIESTIRENO EXPANDIDO	33
8.2 FORMULACIÓN.....	33
8.3 VISCOSIDAD	38
8.4 ADHESIÓN.....	39
8.5 PÉRDIDA DE PLASTIFICANTES POR SECADO.....	42
8.6 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.....	47
IX. CONCLUSIONES.....	49
X. PERSPECTIVAS	50
XI. REFERENCIAS	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen ingredientes de un esmalte de uñas y sus funciones.....	21
<i>Tabla 2. Datos de susceptibilidad de hongos contra el TTO (Carson et al., 2006).....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 3. Formulación barniz de uñas</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4. Resultados del viscosímetro Brookfield RVT formulación con Miristato de Isopropilo al 2%</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5. Promedio de los resultados del viscosímetro Brookfield RVT formulación Miristato de Isopropilo al 2%</i>	<i>39</i>
Tabla 6. Resultados de Adhesión en el Texturómetro de Brookfield para películas realizadas después de 2 días.	40
<i>Tabla 7. Resultados de Adhesión en el Texturómetro de Brookfield para películas realizadas después de 7 días</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 8. Análisis estadístico de los resultados de adhesión.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 9. Resultados termobalanza para la formulación con TTO & MI a 100°C.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 10. Resultados termobalanza para la formulación únicamente con TTO a 100°C. .</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 11. Resultados termobalanza para la formulación únicamente con MI a 100°C.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 12. Análisis estadístico de los resultados de las películas con Tea Tree Oil & Miristato de Isopropilo vs solo Tea Tree Oil</i>	<i>44</i>
Tabla 13. Análisis estadístico de los resultados de las películas con Tea Tree Oil & Miristato de Isopropilo vs solo Miristato de Isopropilo.....	45
<i>Tabla 14. Análisis estadístico de los resultados de las películas con Tea Tree Oil vs Miristato de Isopropilo</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 15. Resumen promedios obtenidos en la termobalanza de las formulaciones TTO+MI, TTO & MI.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 16. Microscopías de la película obtenida a 100x, 500x y 1500x</i>	<i>48</i>

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fabricación del EPS (ECOPLAS, 2020).....	8
Figura 2. Mecanismo de formación de película (Cabrera et al., 2022)	15
Figura 3. Diagrama de flujo para la formulación de un barniz de uñas de poliestireno	30
Figura. 4 Unicel expandido (lado izquierdo) vs unicel densificado (lado derecho).....	31
Figura 5. Comparación de volumen de unicel expandido y densificado.	33
Figura 6. Películas con Miristato de Isopropilo a 10,15 y 20%	35
Figura 7. Películas con Miristato de Isopropilo 1, 2 y 5%	35
Figura 8. Propiedades ópticas de una película (Velasco, 2022)	36
Figura 9. Aplicación de la formulación final en uña	37
Figura 10. Formulación final con pigmento	37
Figura 11. Gráfico viscosidad promedio de la formulación con MI al 2% (velocidad de deformación vs torque)	39
Figura 12. Gráfico comportamiento reológico de los fluidos (Xu et al., 2021).....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 13. Prueba de adhesión texturómetro de Brookfield	¡Error! Marcador no definido.
Figura 14. Distribución t de Student una cola de los datos estadísticos de adhesión.....	42
Figura 15. Distribución t de Student una cola para los datos estadísticos del % Regain (TTO+MI vs TTO)	44
Figura 16. Distribución t de Student una cola para los datos estadísticos del % Regain (TTO+MI vs MI)	45
Figura 17. Distribución t de Student una cola para los datos estadísticos del % Regain (TTO vs MI).....	46
Figura 18. Estructura y componentes del Scanning Electron Microscope (Mohammed & Abdullah, 2018)	48

ABREVIATURAS

% p/p – Porcentaje peso/peso

AE – Acetato de etilo

CIM – Concentración mínima inhibitoria

cPs – Centipoise

c.s.p. – Cantidad suficiente para

C.V. – Coeficiente de variación

Desv. Est. – Desviación estándar

EPS – Poliestireno expandido

FDA – *Food and Drug Administration*

MFFT – Temperatura mínima de formación de película

MI – Miristato de isopropilo

MFC – Concentración mínima fungicida

PS – Poliestireno

SEM – *Scanning Electron Microscope*

Tg – Temperatura de transición vítrea

TTO – *Tea Tree Oil*

I. RESUMEN

Para la elaboración de un barniz de uñas se utilizan tres ingredientes principales: formador de película, disolvente y plastificante. En el presente proyecto se realizó una formulación de barniz de uñas a partir de una dispersión de poliestireno expandido reciclado como agente formador de película, Acetato de Etilo (AE) como disolvente y Miristato de Isopropilo (MI) y *Tree Tea Oil* (TTO) como plastificantes.

El propósito de esta investigación fue darle utilidad al poliestireno expandido el cual presenta una problemática ambiental en la actualidad. Además, se buscó darle funcionalidad al barniz empleando el aceite del árbol de té por sus efectos antimicóticos.

Para manipular el poliestireno, se densificó mediante un tratamiento térmico. En cuanto al disolvente, se evaluaron 3 opciones: acetona, acetato de etilo y una mezcla de ambas, seleccionando el AE, por su compatibilidad y mejor rendimiento con el poliestireno densificado. Con respecto a los plastificantes se optó por utilizar una mezcla de Miristato de Isopropilo (al observar buena miscibilidad con el disolvente) y *Tea Tree Oil* (por sus propiedades mencionadas anteriormente). Se definió las cantidades de los ingredientes fijando la cantidad de TTO al 2.5% y se optó por variar los porcentajes de MI al 1%, 2%, 5%, 10%, 15% y 20%. En el caso del PE se utilizó al 15.5% y el resto de AE para obtener el 100%. Las películas obtenidas fueron evaluadas para poder identificar cuál de ellas presentó mejores propiedades, seleccionando la formulación que contenía MI al 2%, tras haber presentado mejor flexibilidad y transparencia.

Una vez seleccionada la formulación, se evaluó su viscosidad para observar su comportamiento y determinar el tipo de fluido. Posteriormente, se colocó en placas de teflón para formar las películas y se dejaron secar durante 2 y 7 días. A las películas ya secas se les hicieron pruebas de adhesión mediante el uso del texturómetro; pérdida de flexibilidad por secado con la termobalanza, y por último se observaron en el Microscopio Electrónico de Barrido (SEM, *Scanning Electron Microscope*) para visualizar el efecto de los plastificantes empleados, así como, la uniformidad de las películas.

Finalmente, se le añadió color para observar la compatibilidad con los pigmentos y se hicieron pruebas de uso en uña, determinando que la formulación cumple con las características de una película satisfactoria.

II. INTRODUCCIÓN

Uno de los materiales más utilizados alrededor del mundo es el poliestireno expandido (mejor conocido como EPS por sus siglas en inglés), debido a sus propiedades mecánicas, estabilidad química, capacidad de aislamiento térmico, sencillez de fabricación y bajo coste, teniendo aplicaciones como en envases desechables y materiales de embalaje. Sin embargo, produce graves problemas medioambientales debido a su elevado consumo y baja reciclabilidad (Gil-Jasso et al., 2019). Además, tiene un bajo porcentaje de recuperación y presenta una muy baja densidad, lo cual genera volúmenes altos de residuos no biodegradables que terminan en vertederos generando también problemas de salud (Espinoza-Merchán et al., 2020).

El término película hace referencia a un recubrimiento a base de un polímero que forma una capa en la superficie de un sustrato, el cual cumple con ciertas características funcionales y cuyo espesor se encuentra alrededor de 235 μm . Para su formación, se presentan una serie de etapas donde una dispersión de partículas poliméricas sufre de distintos cambios físicos y químicos para transformarse en una película continua mecánicamente estable (Reyes, 2007).

Los barnices de uñas, también conocidos como lacas o esmaltes, son recubrimientos con pigmentos de diversos colores que se adhieren a la uña dejando una película dura y brillante. La base principal de esta formulación son las nitrocelulosas utilizadas como formador de película disueltas junto con los pigmentos en un disolvente volátil, una vez seca, se obtiene una película permeable al oxígeno. Comúnmente se añade a los esmaltes un formador de película secundario (resina) para mejorar las propiedades de flexibilidad. También se agrega a la formulación plastificantes los cuales mejoran la adhesión y proporcionan flexibilidad (Draelos, 2013).

Los aceites esenciales se caracterizan por tener diversas aplicaciones, algunos de ellos son utilizados como agentes antimicrobianos. Durante mucho tiempo se han evaluado los efectos bactericidas de los aceites esenciales. En el caso del aceite del árbol del té (*Tea Tree Oil*) su efecto bactericida se le atribuye a su principal componente: Terpinen-4-ol. Estudios recientes han demostrado que el TTO actúa como agente de permeabilidad lo que provoca una pérdida del control en el proceso de quimiosmosis en bacterias grampositivas y gramnegativas (Corona-Gómez et al., 2022).

III. MARCO TEÓRICO

3.1 POLIESTIRENO

Se puede definir al poliestireno (PS) como un polímero derivado del monómero de estireno, que tiene la capacidad de ser moldeado de diferentes formas a altas temperaturas, dependiendo del método de polimerización empleado. Este material se puede presentar en versiones duras y transparentes, similares al vidrio, o también como formas espumadas que funcionan como material aislante (Velasco, 2022).

El poliestireno, en su forma habitual, se caracteriza por su claridad y transparencia. Además, es fácil de fabricar y presenta una alta resistencia mecánica. Aunque es un material algo quebradizo, puede ablandarse a 100 °C. Uno de sus principales usos es en el envasado, donde se le añaden diversos aditivos para adaptar sus propiedades según el propósito específico (Tanvir et al., 2014).

Gracias a sus propiedades termoplásticas, el PS es ampliamente utilizado en distintos sectores, tanto industrial como doméstico e inclusive automotriz. Algunos productos hechos a partir de PS son cubiertos desechables y modelos de plástico, así como estuches para CD y DVD, entre otros (Tanvir et al., 2014).

3.1.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO

El poliestireno expandido (EPS), comúnmente conocido como unicel, es un polímero compuesto por 98% de aire y 2% de poliestireno. Es un material inerte químicamente, además, tiene buena estabilidad, su costo de producción es bajo, cuenta con alta resistencia de impacto y es un aislante térmico. Por lo que se utiliza mundialmente en industrias como construcción, alimentos y embalaje (De Sousa Cunha et al., 2021).

El EPS se forma con perlas de poliestireno que se derivan del estireno mediante el proceso de polimerización (Figura 1), para ello puede ser necesario la adición de un agente expensor, también llamado agente espumante. Existen distintos métodos de obtención del EPS; uno de ellos consiste en mezclar la resina del poliestireno con los agentes expansores y posteriormente extruirlos; otro método se basa en realizar la polimerización en masa utilizando un monómero de estireno y un hidrocarburo con bajo punto de ebullición, después, la mezcla que se obtiene es fragmentada en trozos y se somete a un proceso de extrusión para obtener poliestireno expansible de baja densidad. Estos métodos han sido

sustituídos por el proceso de polimerización en suspensión con la producción de perlas de polímero pre-expandidas (Perez, 1996).

El proceso de conversión del poliestireno en su forma plástica a su forma expandida se lleva a cabo en tres etapas: preexpansión, maduración intermedia-estabilización, y, por último, expansión-moldeo final (Ramli Sulong et al., 2019).

3.1.1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN

3.1.1.2.1 PREEXPANSIÓN

En la primera fase, la materia prima es calentada con vapor a una temperatura entre los 80 y 100 °C, con el fin de crear una estructura relativamente uniforme con pequeñas partículas cerradas que retienen aire en el interior. Durante este proceso, el gas interno de las perlas comienza a experimentar un aumento de volumen por la presión dentro de las cuencas, lo que genera una estructura molecular hermética al aire (Ramli Sulong et al., 2019).

3.1.1.2.2 MADURACIÓN

El tiempo de maduración se calcula en función de la temperatura del aire contra el tamaño y la densidad de las perlas. En esta etapa, la estructura se enfría a temperatura ambiente, por lo que, el gas dentro de las partículas está sujeto a una caída en la presión ligada a su condensación. Para poder estabilizar la presión interna se requiere conservar las partículas expandidas por unas horas en un silo con paredes permeables, gracias a esto las perlas adquieren una mayor elasticidad mecánica y una mejor capacidad de expansión (Hernández, 2018).

3.1.1.2.3 MOLDEO FINAL

Por último, en el moldeo final las perlas preexpandidas ya maduras vuelven a sufrir un proceso de expansión, en donde se moldean y se exponen al vapor para aglutinarlas. La presión generada comprime las partículas unas con otras, lo que provoca su adhesión y su sinterización (Hernández, 2018).

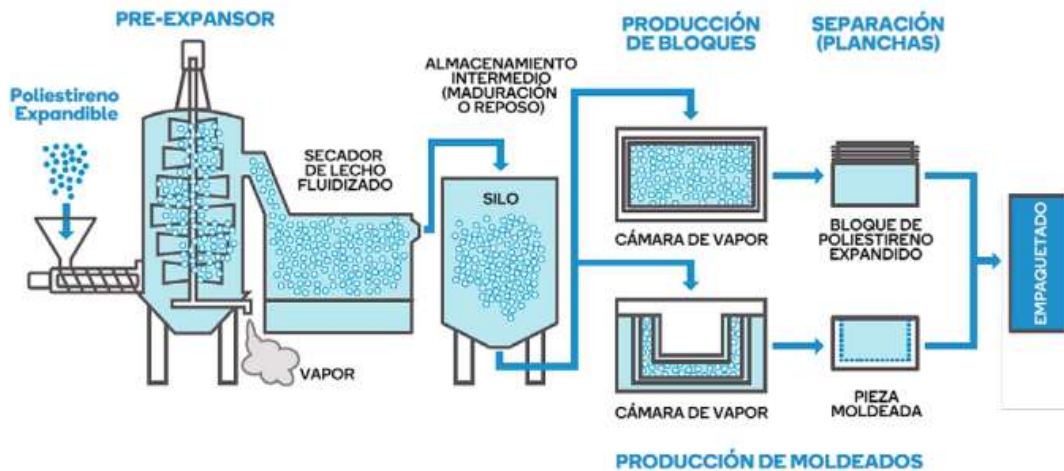


Figura 1. Fabricación del EPS (ECOPLAS, 2020)

3.1.1.3 IMPACTO AMBIENTAL

El EPS es considerado un material no biodegradable, ya que no se descompone, ni se desintegra en el medioambiente, por lo que, químicamente no contamina la tierra, el agua o el aire. No obstante, es necesario buscar alternativas de reciclaje ya que al no descomponerse es considerado como un material eterno, que ocupa un volumen y termina en vertederos o espacios naturales (Ortíz, 2014).

Comúnmente, este material no se separa para su reciclado como los demás residuos reciclables, como el papel y el vidrio, y su porcentaje de recuperación es del 12 % en comparación con los materiales mencionados anteriormente (Arthuz-López & Pérez-Mora, 2019).

El EPS representa en porcentaje de peso un 0.3% del total de residuos de plásticos a nivel nacional (Martínez López & Laines Canepa, 2014). Por esta razón es considerado un problema, ya que en la década pasada se produjeron 39 millones de toneladas de residuos sólidos en México, de los cuales 300,000 fueron de Poliestireno Expandido (Ortíz, 2014). La problemática ambiental del EPS está relacionada con cuatro factores importantes: la degradación lenta y la ausencia de un sustituto; la producción de residuos; la materia prima no renovable y los insumos químicos utilizados para su producción nocivos para el ambiente. (Arthuz-López & Pérez-Mora, 2019).

3.1.1.4 RECICLAJE DEL EPS

El reciclaje del EPS consiste en reducir el tamaño de las esferas y disminuir el aire que contiene, lo que provoca la reducción de su volumen. Para esto es necesario tener en cuenta las propiedades físicas y térmicas del poliestireno. Gracias a que se han planteado distintas técnicas de reciclaje, y al bajo impacto ambiental generado en el proceso de recuperación, cada vez es más viable poder reciclar este material. Según un estudio para el reciclado del EPS existen cuatro tratamientos para este material: (I) Mecánico, (II) Químico, (III) Térmico, e (IV) Incineración (Arthuz-López & Pérez-Mora, 2019).

a) RECICLAJE MECÁNICO

El reciclaje mecánico se refiere al proceso de trituración, el cual facilita la eliminación del espumado, donde posteriormente se lava, se separa, es secado y puede volverse a regranular o mezclarse con otros materiales para la fabricación de nuevos productos, ya que no pierde sus características químicas iniciales. La extrusión es el método más utilizado en las industrias de reciclaje mecánico para producir material regranulado. Es barato, a gran escala, sin disolventes y aplicable a muchos polímeros (Salisu & Maigari, 2021).

Una vez triturados los restos de EPS, se pueden emplear para ser combinados con material edáfico, o bien pueden ser utilizados en la aireación de los residuos orgánicos compostables para la producción de bioabono. De igual forma, se pueden combinar con materiales de construcción para otorgar al material ligereza y una mayor porosidad (Arthuz-López & Pérez-Mora, 2019).

b) RECICLAJE QUÍMICO

Se basa en el uso de disolventes para que el material se solubilice, esto dependerá de la compatibilidad de la polaridad del disolvente con la polaridad del poliestireno. En este caso el poliestireno es un compuesto apolar, por lo cual se debe usar un disolvente apolar para su óptima disolución, obteniendo buenas características y llegando a soluciones saturadas (Arthuz-López & Pérez-Mora, 2019). Algunos disolventes utilizados son: aceite de naranja, d-limoneno, acetona, ciclohexano y acetato de etilo (Hernández, 2018).

c) RECICLAJE TÉRMICO

Consiste en la ruptura de las cadenas poliméricas mediante tratamiento térmico. En este proceso el EPS se calienta a altas temperaturas durante un periodo de tiempo y se aglutina para formar un bloque. Al aplicar calor se minimiza el volumen del material y se obtiene un plástico que ocupa menos espacio (Arthuz-López & Pérez-Mora, 2019).

d) INCINERACIÓN

En este proceso se utiliza el calor para convertir en cenizas el EPS con la finalidad de generar energía, debido a que el EPS tiene una gran capacidad calorífica. Este método ha sido muy controversial en la sociedad debido a los problemas ambientales que puede generar. La incineración del EPS produce grandes cantidades de hollín e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos, ambos productos son potencialmente peligrosos para la salud (López et al., 2014). Por esta razón, debe estar sujeto a controles de emisiones para neutralizar los residuos sólidos y los efluentes gaseosos (Arthuz-López & Pérez-Mora, 2019).

3.2. QUÍMICA VERDE

Debido a la degradación medioambiental crítica durante los años recientes, se han fomentado leyes que buscan la preservación del planeta, las cuales cada vez son más severas. La química verde intenta crear conciencia en espacios donde se desarrollen nuevos proyectos, tanto en laboratorios como en los estudiantes, para poder crear soluciones a los problemas ambientales que se generan por los procesos químicos (Vargas Afanador & Ruíz Pimiento, 2007).

El concepto de química verde fue definido por Paul Anastas y John Warner en su libro "*Green Chemistry: Theory and Practice*" el cuál hace referencia al diseño de procesos y productos químicos que ayuden a minimizar o eliminen el uso y generación de sustancias peligrosas, a través de 12 principios que evalúan qué tan responsable es la reacción, el proceso o el producto químico con el medio ambiente, teniendo como objetivo prevenir la contaminación (Sierra et al., 2015).

Para lograr la conservación del planeta es necesario el desarrollo y uso de nuevas tecnologías y procesos para la fabricación de productos que sean amables con el ambiente. Los métodos de producción requieren de materias que no tengan un impacto en el entorno. Sin embargo, durante mucho tiempo esto no se tuvo previsto. Es por esto que se busca mejorar los procesos basados en metodologías que puedan prevenir la contaminación y sean seguras para los seres vivos. Gracias a la química verde se ha conseguido emplear materiales compatibles con el ambiente mediante procesos innovadores para minimizar o eliminar la generación de sustancias peligrosas, residuos y tóxicos (Pájaro & Olivero, 2011).

3.2.1. PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA VERDE

- 1) Prevención: Evitar la formación de residuos. Reciclarlos, tratarlos o limpiarlos después de que se hayan formado.
- 2) Economía atómica: Diseñar métodos de síntesis que utilicen al máximo los reactivos de partida en el producto final minimizando la formación de subproductos.
- 3) Productos químicos intermedios menos tóxicos: Sí es posible, diseñar métodos de síntesis que utilicen y generen sustancias con poca o ninguna toxicidad para la vida humana o el medio ambiente.
- 4) Productos seguros y eficaces: Diseñar productos químicos que mantengan su eficacia, pero tengan menor toxicidad.
- 5) Reducción del uso de sustancias auxiliares: Evitar en lo posible usar sustancias auxiliares, o bien si son utilizadas, procurar no causar daño a la salud o al medio ambiente.
- 6) Disminución del consumo energético: Utilizar fuentes de energía renovables y optimizar el consumo energético durante los procesos químicos.
- 7) Uso de materias primas renovables: Las materias primas deben ser preferiblemente renovables, considerando que sean viables desde el punto de vista técnico y económico
- 8) Evitar derivados: Minimizar la formación de derivados no esenciales.
- 9) Uso de catalizadores: Se emplearán catalizadores reutilizables en lo posible, en lugar de reactivos estequiométricos.
- 10) Generar productos biodegradables: Se deben diseñar productos químicos que una vez cumplan con su función, no se queden en el medio ambiente, sino que se puedan transformarse en materiales de degradación seguros.
- 11) Metodologías analíticas para monitorizar en tiempo real: Se deben desarrollar metodologías analíticas que puedan monitorearse y controlarse en tiempo real de los procesos, antes de la formación de productos secundarios.
- 12) Minimizar el potencial de accidentes químicos: Seleccionar sustancias en los procesos químicos que reduzcan el riesgo de los accidentes químicos, tanto las emanaciones como las explosiones e incendios

Todos estos principios presentan nuevas filosofías y a su vez establece estándares altos para desarrollar tanto nuevas sustancias como nuevos procedimientos. Minimizando efectos secundarios que puedan dañar el medio ambiente y arriesgar la salud del ser humano (Doria Serrano, 2009).

3.2.2 *UPCYCLING*

El término *upcycling* hace referencia al desarrollo de enfoques y tecnologías sostenibles para transformar ciertos residuos, como los plásticos, y convertirlos en materiales con valor añadido o materias primas. Anteriormente, se había optado por una perspectiva de cero residuos, sin embargo, esta solución no aborda el problema que genera los plásticos ya desechados que siguen contaminando el medio ambiente. Por lo que, las alternativas actuales se centran en reducir el consumo, reutilizar, reciclar y revalorizar los desechos. Al revalorizar los desechos, el *upcycling* podría crear nuevas oportunidades para que los plásticos desechados en vertederos u otros ecosistemas se puedan convertir en materias primas químicas, contribuyendo así a una economía circular más efectiva. (Zhao et al., 2022)

El *upcycling* orientado a los polímeros, aunque es un campo relativamente joven, está experimentando un rápido desarrollo. El *upcycling* químico, mejoraría la parte de los residuos de polímeros que se recicla dando como resultado la producción de materiales o productos para distintas aplicaciones, todo esto mediante la alteración química de un polímero para incrementar su valor o creando productos totalmente nuevos. Para ello, es necesario la creación, adaptación o modificación de ciertos métodos de reciclado para ajustarse a las diferentes materias primas poliméricas que ya existen en la industria actual. (Stadler & De Vries, 2021)

3.3 PELÍCULAS

El término película hace referencia a un recubrimiento que cumple con ciertas características funcionales y decorativas. Las películas están conformadas por los siguientes componentes:

1. Resina, vehículo o polímero: Se le atribuye la mayoría de las características y representa el 40% del volumen de la película.

2. Disolventes: Se puede utilizar uno o más, su función es permitir que el material fluya durante su aplicación y, al evaporarse, dejar una capa sobre el sustrato. Ocupan aproximadamente el 50% del volumen.
3. Pigmentos: Brindan opacidad y color a la película. Se utilizan al rededor del 7%
4. Aditivos: Le agregan propiedades específicas al recubrimiento como mejor apariencia, antiestaticidad y resistencia. Su concentración es de aproximadamente un 4% en volumen.

Las propiedades más importantes que debe tener una película son la resistencia al paso de agentes externos al sustrato o a la zona de aplicación, capacidad de retener el agua, adherencia al sustrato y la resistencia a agentes químicos y biológicos (Reyes, 2007).

3.3.1 FORMACIÓN DE PELÍCULA

La formación de película se refiere al proceso donde una dispersión se aplica a un sustrato y se deja evaporar el medio de dispersión líquido para formar una capa uniforme (Figura 2), dicho de otra forma, consiste en una serie de pasos en la que una suspensión polimérica se convierte en un recubrimiento continuo (Mendoza, 2011).

3.3.1.1 MECANISMO DE FORMACIÓN

EVAPORACIÓN Y ORDENAMIENTO DE PARTÍCULAS (ETAPA I)

Al colocar la dispersión en la superficie, el disolvente comienza a evaporarse, por lo que el volumen de la fase continua disminuye y la concentración de sólidos aumenta. Las partículas empiezan a tener contacto, ya que el espacio donde se movían se ha estrechado. En esta etapa las partículas representan del 50 al 70% del volumen.

Durante este proceso las partículas del polímero se unen de manera irreversible y se deforman debido a las fuerzas interfaciales, a su vez, se comienzan a llenar los espacios interparticulares. El disolvente restante se elimina a través de los canales entre las partículas y por difusión a través del polímero (Mendoza, 2011).

En esta fase es crucial el secado que se da por la evaporación del disolvente, ya que influye de forma directa para la morfología y las propiedades de las películas poliméricas, las cuales permanecerán en las siguientes etapas (Reyes, 2007).

COALESCENCIA DE PARTÍCULAS Y SECADO DE LA PELÍCULA (ETAPA II)

En esta etapa la rapidez de evaporación disminuye, dado que el disolvente restante está atrapado en los espacios que existen entre las partículas. Las partículas pueden deformarse con la finalidad de llenar los espacios vacíos dejados por el disolvente, formando una película visualmente clara pero mecánicamente frágil. Gracias a que los espacios dentro de la película que se está formando son más pequeños que la longitud de onda de la luz visible, se logra obtener una película transparente. (Reyes, 2007).

INTERDIFUSIÓN DE PARTÍCULAS, ESTRUCTURA DE PELÍCULA Y MADURACIÓN (ETAPA III)

Finalmente, para que la película adquiera resistencia a la ruptura o a la deformación, es necesario que las cadenas de las partículas poliméricas se interdifundan, es decir, las cadenas del polímero requieren moverse a través de las fronteras de las partículas. Esto depende directamente si cuentan con la energía térmica suficiente la cual debe ser mayor a la Temperatura de Transición Vítrea (T_g), esta se define como la temperatura en la que un material sólido y rígido se vuelve amorfo y blando. Para poder disminuir la T_g del polímero y asegurar la formación de la película, se añaden agentes plastificantes a la formulación, los cuales cuentan con un bajo peso molecular que les permite incorporarse entre las cadenas del polímero y aumentar el volumen libre (Reyes, 2007).

Un parámetro que también debe considerarse es la Temperatura Mínima de Formación de Película (*Minimum Film Formation Temperature* MFFT), dado que a esta temperatura la película es capaz de crear una capa continua y transparente sobre una superficie, de lo contrario la película puede observarse opaca y quebradiza. Ambos términos están relacionados, ya que para que se pueda obtener una película con propiedades adecuadas, se necesita que el sistema tenga una temperatura mayor que la T_g y la MFFT.

Otros factores que influyen en la interdifusión son: el peso molecular del polímero, ya que las cadenas largas que cuenten con alto PM se pueden unir con otras cadenas lo que disminuye la velocidad de interdifusión. También la presencia de grupos polares superficiales puede retardar la interdifusión por su incompatibilidad al mezclarse (Reyes, 2007).

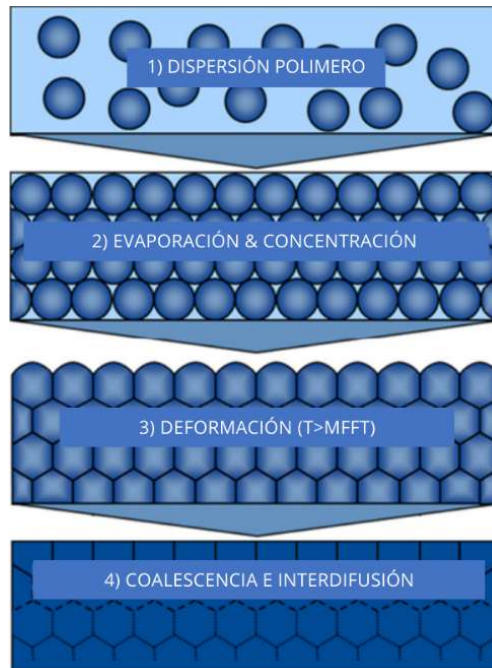


Figura 2. Mecanismo de formación de película (Cabrera et al., 2022)

3.4 BARNIZ DE UÑAS

El producto cosmético más común para decorar las uñas es el barniz de uñas. Este recubrimiento, también llamado esmalte o laca, se aplica sobre la superficie de la uña cuyo objetivo es decorarla. Existen múltiples presentaciones de este producto, desde transparente hasta colores con brillos, aperlados, efecto mate y efectos agrietados (Draelos, 2013).

Su origen surge a partir de la industria automotriz y su adaptación logró posicionarse en la industria dando origen a grandes compañías de cosméticos. En el año 1920 se perfeccionó la técnica de esmalte en los autos para reemplazar las pinturas al óleo de secado lento. En 1930, Charles Revson tuvo la idea de incorporar pigmentos a la laca transparente para crear un esmalte opaco y colorido; en 1932 fundó la compañía de cosméticos Revlon. (Draelos, 2013).

3.4.1 CARACTERÍSTICAS

El principal requisito con el cual debe cumplir un barniz de uñas es su inocuidad ante la piel y la misma uña, además debe tener una aplicación sencilla y cómoda, esto depende directamente de su viscosidad y fluidez. Por otra parte, debe ser estable fisicoquímicamente en su almacenaje, es decir, durante su tiempo de vida útil es indispensable que mantenga su homogeneidad, no se sedimente, no exista una alteración en el color del pigmento y no

haya una interacción con los ingredientes (Wilkinson & Moore, 1990). Por último, debe proporcionar una película con los requerimientos que se explican en el siguiente párrafo.

El espesor de la película tiene que ser uniforme, es decir, ni muy delgada ni muy gruesa, para esto su viscosidad debe ser la óptima y sus propiedades de fluidez y mojado deben ser buenas. De igual forma, el color debe ser homogéneo, lo que implica un pigmento finamente molido y mojado por el medio. Un buen brillo es esencial, esto se ve condicionado por la superficie lisa y las propiedades del medio. Además, su adherencia a la uña tiene que ser buena y debe tener suficiente flexibilidad para que no sea frágil y evitar la aparición de grietas. En cuanto a su superficie esta debe ser dura, no pegajosa y capaz de resistir impactos, sin adherirse a otras superficies ni dejar color en otros medios. También, el secado debe ser entre uno a dos minutos sin generar cristalización. Finalmente, es fundamental que el esmalte conserve estas características de manera satisfactoria durante alrededor de una semana (Wilkinson & Moore, 1990).

3.4.2 INGREDIENTES

La composición de un esmalte se basa en pigmentos suspendidos en un disolvente volátil al que se le añadieron un agente formador de película y plastificantes. En la Tabla 1 se presenta un resumen de los ingredientes y sus funciones.

3.4.2.1 FORMADOR DE PELÍCULA

El ingrediente principal de la laca de uñas es el formador de película; un polímero que le confiere propiedades esenciales tales como resistencia química, mecánica y térmica. Para el desarrollo de una laca de uñas se debe considerar que los formadores de películas sean seguros para su uso en uñas. Además, debe cumplir con estrictos estándares de seguridad y normativas internacionales, también deben considerar la facilidad de eliminación de la película, dado que se aplican sobre un sustrato que crece constantemente y está adherido a un ser humano. Por lo tanto, la eliminación de la laca es imprescindible, y este proceso no puede implicar el uso de disolventes orgánicos altamente tóxicos o fricción mecánica excesiva (Sandewicz, 2017).

El formador de película utilizado comúnmente es la nitrocelulosa, la cual es un polímero de origen natural que se obtiene al reaccionar algodón con ácido sulfúrico y ácido nítrico. En este proceso, es posible esterificar completamente los tres grupos alcohólicos del anillo de celulosa, lo que determinará las propiedades de la nitrocelulosa según el nivel de esterificación (Wilkinson & Moore, 1990) (Sandewicz, 2017).

La nitrocelulosa se disuelve en disolventes orgánicos, que se evaporan y dejan una película dura y brillante conocida como laca. Esta película permite la entrada de oxígeno, esta característica es crucial para cuidar la salud de la uña. De esta forma, el esmalte proporciona una capa protectora inerte sobre la uña, sin causar daño (Draelos, 2013).

La película que se forma a partir de la nitrocelulosa es dura, fuerte y resistente al agua y a la abrasión, no obstante, es necesario el uso de una resina modificadora, ya que el uso únicamente de las nitrocelulosas puede provocar algunas desventajas, como un bajo brillo, tendencia a contraerse y volverse quebradiza, además de ofrecer una adhesión moderada (Wilkinson & Moore, 1990).

3.4.2.2 RESINAS

El uso de resinas modificadoras es necesario para poder contrarrestar los atributos negativos de los agentes formadores de película y así optimizar el rendimiento de la laca de uñas. La resina principal utilizada para mejorar la película de nitrocelulosa es el formaldehído de sulfonamida de tolueno también conocida como toluenosulfonamida formaldehído, sin embargo, es conocida por ser alergénica y está incluida en las pruebas estándar de parches dermatológicos. Por lo tanto, los esmaltes de uñas etiquetados como "hipoalergénicos" no deben contener esta resina. En algunos esmaltes hipoalergénicos, se ha eliminado esta resina y se ha reemplazado por resinas de poliéster o acetato butirato de celulosa, pero aún existe la posibilidad de sensibilidad, y estos esmaltes son menos duraderos, lo que provoca que se desprendan más fácilmente de la uña con la fricción (Draelos, 2013).

La toluenosulfonamida/formaldehído se fabrica mediante la polimerización de p-tolueno sulfonamida y formaldehído y se considera la resina modificadora más común en esmaltes comerciales. Las películas de toluenosulfonamida/formaldehído puro se secan y se transforman en capas duras, brillantes y quebradizas. Por lo que al combinarla con la nitrocelulosa genera películas que ofrecen excelentes propiedades de adhesión, brillo, resistencia a detergentes y al agua. Sin embargo, se requiere de un porcentaje moderado en la formulación ya que las películas que contienen altos niveles de toluenosulfonamida/formaldehído tienden a secarse lentamente y mantienen su pegajosidad durante períodos prolongados (Sandewicz, 2017).

3.4.2.3 PLASTIFICANTES

La nitrocelulosa por si sola en la formulación de un barniz es demasiado frágil, inclusive si se le añade una resina modificadora, es por ello que se requiere adicionar plastificantes en

las lacas para garantizar que, una vez que los disolventes se evaporan, la película que se forma en las uñas se adhiera correctamente, sea flexible y no se descame. Los plastificantes se mantienen en la película después de la evaporación de los disolventes, gracias a su alto punto de ebullición lo que genera flexibilidad y a su vez aumentan el brillo de las películas y mejoran las propiedades de flujo del barniz (Wilkinson & Moore, 1990).

Un requisito indispensable en los plastificantes es que deben ser solubles en los disolventes y polímeros con los que se formulan, ya que, de no ser así, el plastificante migrara de las películas secas y perderán su efectividad, es decir, se separarán de la película y esta se volverá quebradiza. Idealmente, también deberían aportar beneficios adicionales a la película, como claridad, un color aceptable, buen brillo, suavidad, resistencia a detergentes y al agua, y una aplicación uniforme (Sandewicz, 2017).

En resumen, un plastificante debe cumplir con ciertas características: un buen plastificante debe ser compatible con el disolvente, la nitrocelulosa y las resinas utilizadas; además, debe ser dermatológicamente inocuo y libre de propiedades sensibilizantes. También es importante que tenga baja volatilidad para mantenerse en las películas de laca secas de manera permanente. Además, debe poseer una buena estabilidad a la luz para no causar decoloración en el producto terminado. Por último, debe ser estable y sin olor, o bien, tener un olor agradable (Wilkinson & Moore, 1990).

La cantidad de plastificante en la formulación es fundamental, ya que niveles insuficientes provocarán que la película sea quebradiza provocando que pueda astillarse, agrietarse o pelarse fácilmente. Por el contrario, si los niveles de plastificante son demasiado altos darán como resultado películas blandas que se secan lentamente y se estropean con facilidad. Para seleccionar el tipo de plastificante y su porcentaje en la formulación se debe considerar el formador de película y la resina, esto se determinará experimentalmente para identificar la selección cualitativa y cuantitativa de los plastificantes. Inclusive, en algunos casos se utilizan un único plastificante, o también la combinación de dos o más plastificantes para lograr un mejor desempeño (Sandewicz, 2017).

3.4.2.4 DISOLVENTES

La elección del disolvente adecuado está influenciada por el tipo de formador de película utilizado. Los disolventes afectan de forma directa en la viscosidad del producto, la facilidad de aplicación, el tiempo de secado, la suavidad de la película, el brillo, la adherencia a las

uñas, el costo de formulación, la inflamabilidad del producto, la seguridad de fabricación, la selección del envase y la estabilidad del producto a largo plazo (Sandewicz, 2017).

Para la formación de películas, resultan cruciales las propiedades del disolvente especialmente la velocidad de evaporación. Los disolventes se pueden clasificar según su punto de ebullición, en función de algunos otros factores como lo es la presión de vapor y la capacidad de formar enlaces de hidrógeno con polímeros y/u otros ingredientes. Los disolventes se clasifican en 3 categorías: bajo punto de ebullición, que abarca hasta 100 °C, como la acetona o el acetato de etilo; medio punto de ebullición de 100-150 °C, como el acetato de butilo, y, por último; alto punto de ebullición de más de 150 °C, como Cellosolve, Cellosolve acetato o butil Cellosolve (Wilkinson & Moore, 1990).

Si bien el punto de ebullición tiene una gran importancia, la velocidad de evaporación a temperaturas no mayores a 30°C resulta más determinante, y se ve afectada por el calor específico y el peso molecular. Para predecir las velocidades de evaporación, se han llevado a cabo distintas pruebas donde se comparan disolventes en condiciones controladas. La selección del disolvente ideal y su porcentaje en la formulación es determinante por distintas razones: los disolventes de bajo punto de ebullición agilizan la aplicación y secado del producto, sin embargo, en exceso pueden generar una dispersión irregular, por el contrario, los de alto punto aportan buena viscosidad y uniformidad, pero retrasan el tiempo de secado. Una evaporación rápida puede dar lugar a la cristalización y la evaporación selectiva puede afectar la composición y uniformidad de la película (Wilkinson & Moore, 1990).

Otro factor que debe ser considerado para la selección del disolvente es la polaridad. Existe un dicho en química orgánica que dice “lo semejante se disuelve con lo semejante”, esta frase se utiliza bajo este contexto, dado que los disolventes polares son muy eficaces para disolver plastificantes y formadores de película que también poseen características polares (Sandewicz, 2017).

En la parte experimental la elección del disolvente suele implicar mucho trabajo. Inicialmente, es recomendable usar una mezcla 1:1 de acetato de etilo y acetato de n-butilo.

Una vez disueltos los formadores de película, los plastificantes y otros componentes se evalúa la viscosidad, aplicación, tiempo de secado y dureza de la película. Tras someter la formulación a las pruebas de rendimiento y su análisis, se hace el ajuste necesario de los disolventes dependiendo de las necesidades específicas del barniz. Normalmente, las

formulaciones que tienen un secado rápido utilizan acetato de etilo, mientras que las que tienen un secado más lento contienen acetato de n-butilo. El uso excesivo de disolventes de alto punto de ebullición podría provocar que el tiempo de secado sea largo, lo que dificultaría el endurecimiento de la película. De forma contraria, un exceso de disolventes de bajo punto de ebullición puede causar que la aplicación sea más complicada y afectar negativamente las propiedades de la película, además de causar un aumento no deseado de la viscosidad con el uso. Asimismo, la utilización de acetona u otros disolventes con muy bajo punto de ebullición puede provocar “rubor”, un fenómeno que provoca enturbiamiento en la película debido a la condensación de humedad durante la etapa de secado (Sandewicz, 2017).

Al abrir el empaque de un barniz de uñas, los disolventes se evaporan alterando la composición del producto, es por ello que si la formulación contiene demasiado disolvente con bajo punto de ebullición el producto final tiende a volverse excesivamente viscoso.

3.4.2.5 PIGMENTOS

La presentación más común en la laca de uñas es la transparente, sin embargo, las lacas con color son más populares y llamativas estéticamente. Algo que destaca de los barnices de uñas es la amplia gama de colores que existen en comparación con otros cosméticos.

En los barnices de uñas se emplean dos tipos principales de agentes colorantes: pigmentos y nacarantes, también llamados escarchas o pigmentos de efecto, no obstante, en algunos casos también se pueden utilizar colorantes. Los agentes colorantes se pueden elegir de una lista de colores certificados que han sido aprobados previamente por la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés *Food and Drug Administration*) (Wilkinson & Moore, 1990).

Los colorantes orgánicos son solubles en disolventes, mientras que los pigmentos y nacarantes son insolubles en el medio de dispersión, por lo que para poder conseguir el mejor efecto de color en el producto final es necesario que se dispersen de forma correcta. En cambio, los colorantes deben disolverse primero en uno o más disolvente para maximizar su potencial de color. No obstante, se deben usar en porcentajes relativamente bajos, de lo contrario los colorantes pueden dejar manchas no deseadas en las uñas. Generalmente, no son utilizadas en las lacas matizadas, pero si se emplean en las lacas transparentes para dar un tono sutil (Sandewicz, 2017).

En cuanto a la dispersión de los pigmentos orgánicos, para poder lograr su adecuada distribución, las partículas deben desaglomerarse, dicho de otra forma, se deben “romper” de forma mecánica en partículas más pequeñas, y posteriormente se deben humedecer completamente mediante una mezcla mecánica de alto cizallamiento en una base de laca de nitrocelulosa. Por otro lado, los pigmentos inorgánicos son menos complejos que los colorantes orgánicos, estos son de origen mineral, tienen una composición química específica y la mayoría de ellos son óxidos metálicos. Para que puedan ser usados en productos cosméticos se les somete a un tratamiento específico. Una característica importante de los pigmentos es que son estables frente a la luz, el calor y diversas sustancias químicas (Wilkinson & Moore, 1990).

Las formulaciones que contienen pigmentos nacarados son las más populares y se conocen como tonos satinados. También se les conoce como pigmentos de efecto porque las perlas generan atractivos efectos luminosos. Estos pigmentos pueden utilizarse solos o en combinación con otros colorantes para realzar su impacto visual. Una forma de entender el mecanismo de sus propiedades ópticas es imaginando que los pigmentos aperlantes son espejos diminutos que reciben y reflejan la luz, en las partículas de la perla reflectante la luz no se desvía al incidir sobre ellas, por lo tanto, el color percibido de la luz reflejada permanece constante, sin importar la posición en la que se observe (Sandewicz, 2017).

<i>Ingrediente</i>	<i>Función</i>
<i>Formador de película</i>	Proporciona la estructura principal del barniz, formando una película dura, brillante, resistente al agua y a la abrasión.
<i>Resinas</i>	Mejoran las propiedades de la película, como el brillo, la adhesión y la resistencia. Contrarrestan la fragilidad de la nitrocelulosa.
<i>Plastificantes</i>	Aumentan la flexibilidad de la película, mejoran su brillo y facilitan su adhesión. Garantizan que la película no sea quebradiza o blanda. Permanecen en la película tras la evaporación de los disolventes.
<i>Disolventes</i>	Disuelven al formador de película y facilitan la aplicación uniforme. Afectan directamente la viscosidad, el tiempo de secado y la estabilidad del producto.
<i>Pigmentos</i>	Aportan color y efectos decorativos al barniz. Pueden brindar efectos mates, brillantes o nacarados. Deben ser seguros y cumplir con las normativas cosméticas.

Tabla 1. Resumen ingredientes de un esmalte de uñas y sus funciones.

3.4.3 DESVENTAJAS DEL USO DE NITROCELULOSAS

Como se mencionó anteriormente, la nitrocelulosa es el formador de película más empleado en los barnices de uñas, gracias a su capacidad para crear películas duras y brillantes que se secan con relativa rapidez. Sin embargo, se considera un material peligroso ya que tiene un elevado riesgo térmico, por lo que es muy fácil que se produzcan incendios o incluso explosiones si no se maneja correctamente durante su almacenamiento, transporte y uso.

Originalmente, la nitrocelulosa se utilizaba en la fabricación de pólvora y otros tipos de artillería gracias a sus propiedades explosivas. Al igual que la nitroglicerina y el TNT (trinitrotolueno), su estado seco conlleva a mayor riesgo de incendio, es por esto que se requiere de disolverla en un medio apropiado, esto dependerá según el grado de esterificación del nitrato. Bajos grados de nitración favorecen la solubilidad en mezclas que contienen cantidades considerables de hidrocarburos y alcoholes de bajo peso molecular. Por el contrario, altos grados de nitración requieren mezclas que incluyan ésteres alquílicos, cetonas y éteres de glicol (Sandewicz, 2017).

La adición de un agente humectante en la cantidad adecuada puede reducir de forma considerada el riesgo de explosión, permitiendo que la nitrocelulosa se transporte y almacene de manera segura. La mayoría de los agentes humectantes forman enlaces de hidrógeno con los grupos funcionales polares de la nitrocelulosa, controlando así la cantidad de agua que podría absorber. El agente humectante que se utiliza comúnmente es el alcohol isopropílico (Moniruzzaman et al., 2023).

La nitrocelulosa también se puede ver afectada por diversos factores medio ambientales. Es particularmente sensible a ciertos metales, especialmente al hierro, y puede volverse amarilla o marrón rápidamente, incluso con una exposición mínima a estos materiales. Esto representa un gran desafío ya que el hierro y el acero son comunes en la industria, por esta razón, la nitrocelulosa debe ser manipulada en recipientes de acero inoxidable u otros metales que no contengan hierro. Además, la nitrocelulosa es muy reactiva ante materiales alcalinos; incluso una pequeña cantidad puede oscurecerla y potencialmente causar un incendio o una explosión (Sandewicz, 2017).

Este polímero contiene numerosos grupos polares (como éteres, nitros e hidroxilos) que pueden formar enlaces de hidrógeno con el agua, lo que podría generar problemas de estabilidad con colorantes orgánicos y aditivos en formulaciones de laca de uñas, a menos

que se controle cuidadosamente la humedad residual durante su fabricación. Como se mencionó anteriormente, los agentes humectantes son efectivos para mitigar la contaminación por agua no deseada. También, la nitrocelulosa es sensible a la luz solar y al calor, y se torna cada vez más amarilla o marrón con la exposición prolongada a estas energías (Sandewicz, 2017).

3.4.4 EVALUACIÓN DE LA FORMULACIÓN

La evaluación y el control de calidad de los barnices se centran en el análisis de propiedades específicas. La viscosidad del producto final es de suma importancia, ya que influye significativamente en su rendimiento. Asimismo, los tiempos de secado son esenciales y deben ser definidos con precisión. Después del secado, es fundamental monitorear constantemente el brillo, la dureza, la adherencia y la resistencia al desgaste. Por último, el proceso de igualación del color es crucial; una dispersión inadecuada de los pigmentos puede afectar la estabilidad del color, causando la separación de los componentes y resultando en una película que presenta un acabado irregular en lugar de liso (Knowlton & Pearce, 1993).

Para la evaluación, se han utilizado ensayos *in vitro* e *in vivo*, que son esenciales en el desarrollo de barnices. Las pruebas *in vitro* se llevan a cabo al formar la película sobre diversas superficies, como placas de vidrio y teflón, paneles metálicos, cartulinas de papel y uñas artificiales poliméricas, entre otros sustratos. Estos estudios son de suma importancia para el escalado del producto y la fabricación comercial (Sandewicz, 2017).

Las pruebas *in vivo* se realizan en personas voluntarias, bajo estas condiciones los resultados de estas pruebas proporcionan información muy importante sobre el rendimiento del producto. En contraste con las pruebas *in vitro* que utilizan sustratos sintéticos, los ensayos en uñas humanas proporcionan una variabilidad biológica, considerando también los factores ambientales y de estilo de vida. Por lo tanto, es recomendable realizar pruebas preliminares *in vivo* a pequeña escala, es decir, en grupos de cinco a 20 personas, antes de proceder con ensayos a gran escala (Sandewicz, 2017).

3.5 TEE TREE OIL (TTO)

El aceite de árbol de té, también llamado aceite de *Melaleuca*, se extrae de árboles de la familia Myrtaceae originarios de Australia, pero también presentes en América, el sur de Asia e Indonesia. Este aceite presenta un color que varía de transparente a ligeramente

amarillento, y su aroma es intenso como el alcanfor, además de ofrecer un efecto refrescante similar al del mentol. Su gravedad específica es de 0,885-0,906, y es compatible con disolventes orgánicos como el alcohol y la acetona, pero es poco soluble en agua (Yasin et al., 2021).

Se estima que anualmente Australia produce aproximadamente 900 toneladas de aceite de árbol de té, generando un valor económico cercano a los 35,32 millones de dólares. De esta cifra de producción, el 90% es exportado, principalmente a Estados Unidos (54%), Europa (30%) y Asia (14%). Este aceite es utilizado en diversos sectores como el cosmético, farmacéutico, veterinario y en aromaterapia. Gracias a su bioactividad, puede aplicarse directamente o añadirse a productos para conferirles propiedades antisépticas y antibacterianas. Algunas de las presentaciones en las que se encuentra el TTO incluyen jabones, cremas, dentífricos, enjuagues bucales, bálsamos labiales, así como lociones y cremas para el acné (Yasin et al., 2021).

El aceite del árbol de té se compone principalmente por hidrocarburos de terpenos, entre los que se destacan el terpinen-4-ol, alfa y gamma terpineno, 1,8-cineol y terpinoleno los cuales son volátiles y aromáticos. Gracias a las diversas técnicas analíticas, como lo son la cromatografía de gases y la cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas, se ha podido determinar alrededor de 100 compuestos, donde se determina que el terpinen-4-ol representa el 40% de la composición total, seguido del terpineno y el α -terpineno con un 23% y un 10% respectivamente (Carson et al., 2006).

Es importante tener en cuenta que las condiciones de almacenamiento, como la exposición al calor, al aire, a la luz y a la humedad, pueden influir en la composición química del aceite. Algunos compuestos, como el alfa y gamma terpineno, son susceptibles a la degradación con el tiempo. Por esta razón, se sugiere guardar el aceite en un lugar fresco, seco y oscuro, preferiblemente en un recipiente ámbar, para evitar alteraciones químicas.

3.5.1 EFECTOS ANTIFÚNGICOS

El aceite de árbol de té (TTO) ha sido utilizado durante años como un eficaz agente antifúngico y antimicrobiano, esto se atribuye a sus componentes bioactivos, como el terpinen-4-ol, α -terpinoleno y el 1,8-cineol. Gracias a ellos, el TTO puede inhibir la respiración y aumentar la permeabilidad de las membranas, lo que resulta en la supresión del metabolismo microbiano (Borotová et al., 2022).

Por otra parte, el terpinen-4-ol presente en las hojas del árbol del té, ha demostrado ser eficaz contra varios dermatofitos que afectan la piel. Diferentes estudios han estudiado su efectividad terapéutica mediante distintos estudios comparándolos con medicamentos utilizados comúnmente para tratar infecciones fúngicas, como lo es la onicomicosis (AbdelHamid et al., 2017).

Datos recientes indican que algunas levaduras, dermatofitos y otros hongos filamentosos se muestran sensibles al TTO. Al realizarse diferentes ensayos se ha observado que las concentraciones mínimas inhibitorias (CMI) generalmente se sitúan entre el 0,03% y el 0,5%, mientras que las concentraciones fungicidas suelen fluctuar entre el 0,12% y el 2%. De igual forma, se ha demostrado que los vapores del TTO inhiben el crecimiento de hongos y afectan la esporulación (Carson et al., 2006).

3.5.1.1 MECANISMO DE ACCIÓN ANTIFÚNGICO

La mayoría de los estudios del mecanismo de acción antifúngico se han enfocado en *C. albicans*, donde se observó que el TTO altera la permeabilidad de sus células. En un estudio con TTO al 0.25% se obtuvo un aumento significativo en la fluidez de la membrana de las células tratadas, lo que confirmó que el TTO afecta de manera considerable las propiedades de la membrana de *C. albicans*. Por otro lado, se ha visto que el TTO inhibe la acidificación del medio inducida por glucosa en *C. albicans*, *C. glabrata* y *Saccharomyces cerevisiae*, esto debido a que se produce principalmente por la expulsión de protones a través de la ATPasa de la membrana plasmática, que utiliza ATP generado en las mitocondrias. La inhibición de esta función sugiere un impacto negativo en las membranas plasmáticas y/o mitocondriales. Lo cual fundamenta que el TTO causa alteraciones o daños en la funcionalidad de las membranas fúngicas (Carson et al., 2006).

En la Tabla 2 se puede observar los datos de susceptibilidad de los hongos ante el aceite del árbol del té, donde CIM hace referencia a la concentración inhibitoria mínima la cual establece la menor concentración de un agente antimicrobiano capaz de bloquear el crecimiento visible *in vitro* de un microorganismo. Por otra parte, el MFC indica la concentración fungicida mínima de los agentes antimicrobiano que disminuye en al menos un 99,9% la viabilidad de la población inicial de microorganismos inoculados.

Especie de hongo	% (vol/vol)	
	CIM	MFC
<i>Alternaria</i> spp.	0.016-0.12	0.06-2
<i>Aspergillus flavus</i>	0.31-0.7	2 - 4
<i>A. fumigatus</i>	0.06-2	1- 2
<i>A. niger</i>	0.016-0.4	2 -8
<i>Blastoschizomyces capitatus</i>	0.25	-
<i>Candida albicans</i>	0.06-8	0.12-1
<i>C. glabrata</i>	0.03-8	0.12-0.5
<i>C. parapsilosis</i>	0.03-0.5	0.12-0.5
<i>C. tropicalis</i>	0.12-2	0.25-0.5
<i>Cladosporium</i> spp.	0.008-0.12	0.12-4
<i>Cryptococcus neoformans</i>	0.015-0.06	-
<i>Epidermophyton floccosum</i>	0.008-0.7	0.12-0.25
<i>Fusarium</i> spp.	0.008-0.25	0.25-2
<i>Malassezia furfur</i>	0.03-0.12	0.5-1.0
<i>M. sympodialis</i>	0.016-0.12	0.06-0.12
<i>Microsporum canis</i>	0.03-0.5	0.25-0.5
<i>M. gypseum</i>	0.016-0.25	0.25-0.5
<i>Penicillium</i> spp.	0.03-0.06	0.5-2
<i>Rhodotorula rubra</i>	0.06	0.5
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	0.25	0.5
<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	0.11-0.44	0.25-0.5
<i>T. rubrum</i>	0.03-0.6	0.25-1
<i>T. tonsurans</i>	0.004-0.016	0.12-0.5
<i>Trichosporon</i> spp.	0.12-0.22	0.12

Tabla 2. Datos de susceptibilidad de hongos contra el TTO (Carson et al., 2006)

Los hongos que producen la infección dermatofitosis en la uña generalmente conocida como onicomycosis son miembros de los géneros *Microsporum*, *Trichophyton* y *Epidermophyton*. Las especies de estos géneros que se encuentran comúnmente en las infecciones que causan onicomycosis son *T. rubrum*, *T. mentagrophytes* y *Epidermophyton floccosum* (Elewski, 1998).

3.5.2 ACTIVIDAD ANTIBACTERIAL

La mayoría de las veces los estudios que evalúan el potencial antibiótico del TTO se han centrado en *Staphylococcus aureus*, donde se ha demostrado su actividad antibacteriana contra esta bacteria. Los valores de concentración mínima inhibitoria (CMI) del aceite de árbol de té para *S. aureus*, *S. epidermidis*, *B. subtilis*, *B. cereus*, *Micrococcus luteus*,

Streptococcus, *E. coli*, *Pseudomonas* y *Proteus* varían entre el 0,2% y el 0,5% en términos de volumen/volumen (Yasin et al., 2021).

El mecanismo de acción del TTO se fundamenta en la capacidad de sus hidrocarburos para penetrar en las membranas biológicas y alterar funciones esenciales. Además, se ha demostrado que el TTO permeabiliza modelos de sistemas liposomales. En el caso de *Staphylococcus aureus*, se observó que el TTO induce la fuga de iones de potasio, así como la inhibición de la respiración. Además, el tratamiento con TTO sensibilizó las células de *S. aureus* al cloruro sódico y provocó cambios morfológicos evidentes al microscopio electrónico. Por otra parte, con *E. coli* el TTO ha provocado efectos secundarios sobre la homeostasis del potasio, la respiración dependiente de la glucosa y la morfología celular (Carson et al., 2006).

En resumen, el mecanismo de acción relacionado con el TTO implica la pérdida de la integridad y función de la membrana, derivado de la incapacidad de mantener la homeostasis y la inhibición de la respiración.

IV. HIPÓTESIS

El poliestireno reciclado tendrá la capacidad de formar películas uniformes utilizando como plastificantes Miristato de Isopropilo y Tree Tea Oil para la formulación de un barniz de uñas mediante un proceso sencillo y fácilmente escalable empleando operaciones unitarias convencionales para la industria cosmética.

V. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y optimizar el método de obtención de películas de poliestireno reciclado usando Miristato de Isopropilo y *Tree Tea Oil* como plastificantes en diferentes proporciones para la formulación de un barniz de uñas.

5.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- I. Optimización del método de densificación del poliestireno reciclado mediante un tratamiento térmico para simplificar las operaciones unitarias.
- II. Obtención de películas de poliestireno mediante la dispersión de unicel densificado usando acetato de etilo como disolvente para lograr una disolución adecuada del EPS.
- III. Selección del porcentaje de ingredientes, ajustando la cantidad de plastificante y disolvente en la formulación para obtener una película con propiedades positivas.
- IV. Evaluación de la concentración de Miristato de Isopropilo mediante el análisis de su acabado, transparencia y flexibilidad para determinar la cantidad ideal de plastificante.
- V. Observar la compatibilidad del *Tea Tree Oil* en la formulación mediante su incorporación en la formulación para proporcionarle propiedades antimicóticas.
- VI. Analizar la homogeneidad del pigmento mediante su integración en la formulación para obtener un barniz de uñas con color.
- VII. Evaluación del comportamiento reológico de la dispersión de poliestireno mediante el uso del viscosímetro para determinar el tipo de fluido.

- VIII. Determinar la carga máxima de las películas de poliestireno utilizando el texturómetro para analizar su capacidad de adherencia como película.
- IX. Caracterización morfológica las películas constituidas de poliestireno mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para verificar la uniformidad de la película.

VI. MATERIALES Y EQUIPO

6.1 MATERIALES

Acetato de etilo (Meyer, México).

Miristato de isopropilo (New systec, México).

Poliestireno Expandido (Material reciclado).

Tea Tree Oil (New systec, México).

Pigmento FD&C Azul No. 1 ALUM-LAKE (Sensient Colors, México).

6.2 EQUIPO

Agitador magnético multiplazas (RO 10 IKA, E.U.A.).

Balanza analítica (OHAUS Pionner PA 163, China).

Termobalanza (OHAUS MB45, E.U.A.).

Horno de vacío (Napco E series, E.U.A.).

Microscopio electrónico de barrido (SM, JEOL JSM-6010LA).

Texturómetro Brookfield (CT3, U.S.A.).

Viscosímetro (Brookfield RVT, U.S.A.).

I. METODOLOGÍA

En la Figura 3 se presenta de forma general el proceso experimental para el desarrollo del presente proyecto.

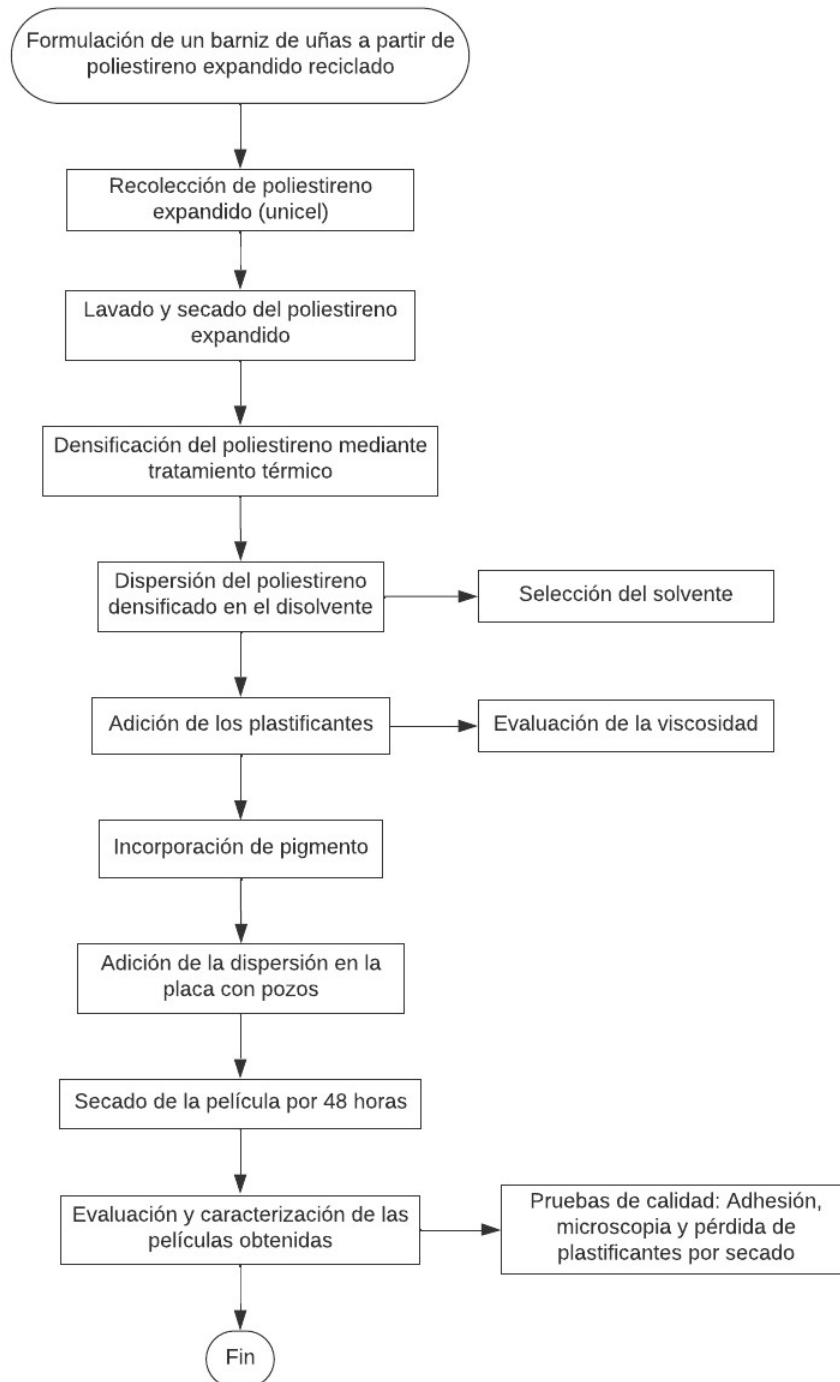


Figura 3. Diagrama de flujo para la formulación de un barniz de uñas de poliestireno

7.1 DENSIFICACIÓN DEL POLIESTIRENO

Se utilizó unicel desechado que se recopiló de distintas fuentes, posteriormente fue lavado, secado, triturado sometido a un tratamiento térmico, esto con el fin de reducir su tamaño hasta un 85% (Figura 4) y para que su manipulación fuera sencilla. Cabe señalar que el procedimiento de densificación no se detalla debido a los derechos de una patente que actualmente está en proceso.



Figura. 4 Unicel expandido (lado izquierdo) vs unicel densificado (lado derecho)

7.2 DISPERSIÓN

Para dispersar el poliestireno se utiliza un disolvente o varios, en este caso se consideraron tres opciones: acetona, acetato de etilo o una combinación 1:1 de ambos disolventes. Se disolvió 3 g de poliestireno (PE) previamente densificado en 10 ml de los respectivos disolventes con ayuda de un agitador magnético a velocidad continua para observar su comportamiento. De las opciones evaluadas el acetato de etilo mostró mejor solubilidad.

7.3 ADICIÓN DE PLASTIFICANTES Y PIGMENTOS

Se seleccionaron dos plastificantes: Miristato de Isopropilo, al observar buena miscibilidad con el disolvente y el *Tea Tree Oil* (TTO), por sus propiedades antifúngicas. Para determinar la cantidad de plastificante a usar se fijó la cantidad de TTO al 2.5% y se optó por variar los porcentajes de Miristato de Isopropilo al 1%, 2%, 5%, 10%, 15% y 20% para observar el comportamiento de las películas. Una vez disuelto el poliestireno densificado en el acetato de etilo se añadieron los plastificantes en las cantidades mencionadas siguiendo la agitación. Después de incorporar los ingredientes se adicionó el pigmento hasta su completa homogeneización.

7.3.1. VISCOSIDAD

Para determinar la viscosidad de la formulación se empleó el viscosímetro Brookfield RVT. Se colocó 1000 ml de la formulación utilizando la aguja RV-1 a velocidades de 20, 50 y 100 rpm por triplicado.

7.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS PELÍCULAS

Se depositaron 2 ml de la formulación en una placa de teflón con pozos y se dejó secar durante 48 horas para poder evaluar los parámetros de adhesión, pérdida de plastificantes por secado y microscopía diferencial de barrido.

7.4.1 ADHESIÓN

Se realizaron lotes de películas con alambre de metal en el centro de la película para poder desprenderla de la placa con el texturómetro Brookfield CT3 y determinar la adherencia de las películas en los pozos de la placa. Se utilizó el aditamento TA-RT para sujetar la placa y el aditamento TA-PF180 para sujetar el alambre.

7.4.2 PÉRDIDA DE PLASTIFICANTES POR SECADO

Se colocaron las películas desmoldadas en la termobalanza OHAUS MB45 a una temperatura de 100°C, para poder observar la pérdida de los plastificantes, tomando el peso inicial y el peso final y obteniendo el porcentaje de la pérdida del peso.

7.4.3 MICROSCOPIA DIFERENCIAL DE BARRIDO

Se empleo microscopía electrónica de barrido para visualizar la superficie de la película. Se prepararon las muestras haciendo un corte longitudinal en una película de 1 mm de grosor, se recubrieron con una capa de oro coloidal utilizando un Evaporador Catódico Denton Vacuum, aplicando pulverización catódica de punto fijo a 7 amperios durante 300 segundos, por último, fueron observadas a 100x, 500x y 1500x.

VIII. RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1 DENSIFICACIÓN POLIESTIRENO EXPANDIDO

Como se mencionó anteriormente, el poliestireno expandido está compuesto por un 98% de aire y 2% por poliestireno. Debido a esta estructura para reducir la carga estática, agilizar su manipulación, en términos de transporte y almacenamiento, y mejorar la dispersión del poliestireno en el disolvente, es necesario reducir su tamaño. Para ello, se empleó el método de densificación térmica, que facilita su manejo en los procesos industriales.

En este caso, el 100% representa el volumen que ocupa el EPS en una probeta de 1 litro, mientras que los 150 ml corresponden al volumen que ocupa el EPS después de ser densificado (ver Figura 5), logrando reducir su volumen aproximadamente un 85%.



Figura 5. Comparación de volumen de unicel expandido y densificado.

Gracias al proceso de densificación se pudo recuperar el poliestireno en esferas más pequeñas para posteriormente ser utilizado como el agente formador de película en la formulación del barniz de uñas, sustituyendo así el uso de la nitrocelulosa, y, por lo tanto, minimizando el riesgo de incendios o explosiones en el proceso de manufactura del producto. Además de contribuir con el reciclado del material que es desechado al finalizar su uso único, contribuyendo a la disminución de los desechos y contaminación que provoca en el medio ambiente.

8.2 FORMULACIÓN

Para la formulación (Tabla 3) se utilizó el poliestireno previamente densificado como agente formador de película, a partir de esto se seleccionó el disolvente. Inicialmente se consideraron tres opciones: acetona, acetato de etilo (AE) y una mezcla 1:1 de ambos. Se

consideraron estos disolventes al ser los más utilizados en las formulaciones de barnices debido a que, gracias a su bajo punto de ebullición, permite que la formulación pueda secarse rápidamente y se obtenga una película uniforme, además de ser seguros e inocuos para la uña. Tras disolver el poliestireno densificado en estas opciones se seleccionó el acetato de etilo, ya que mostro mejor rendimiento y afinidad en la disolución del formador de película. El porcentaje de este ingrediente en el barniz se utilizó de acuerdo a la cantidad suficiente para (c.s.p.) llegar al 100% de la formulación. En cuanto al poliestireno, se determinó la cantidad a utilizar con base a la prueba de solubilidad, obteniendo que el 15.5% de poliestireno es la cantidad máxima que se pudo disolver en el acetato de etilo.

<i>Ingredientes</i>	<i>(p/p) %</i>	<i>Función</i>
<i>Acetato de Etilo</i>	c.s.p.	Disolvente
<i>Poliestireno</i>	15.5	Agente formador de película
<i>Tea tree oil</i>	2.5	Antifúngico y plastificante
<i>Miristato de Isopropilo</i>	1, 2, 5, 10, 15 y 20	Plastificante

Tabla 3. Formulación barniz de uñas

Para disminuir la rigidez y mejorar la resistencia mecánica de las películas es necesario el uso de un plastificante. El plastificante disminuye la temperatura de transición vítrea (T_g) del poliestireno, es decir, reduce la fuerza de interacción de las cadenas del polímero a nivel molecular lo que provoca la movilidad de la cadena y como resultado se obtiene una película más flexible (Velasco, 2022). En este caso se utilizaron dos ingredientes como plastificantes. Se eligió Miristato de Isopropilo (por su buena miscibilidad con el acetato de etilo) y *Tea Tree Oil* (por sus propiedades antimicóticas). Para poder determinar la cantidad adecuada del Miristato de Isopropilo, fue necesario variar los porcentajes de este ingrediente (1, 2, 5, 10, 15, y 20%). Después de dejar que las películas se secaran durante 48 horas, se observó que al 10,15 y 20% (Figura 6), las películas tenían una presentaban un comportamiento elástico, además, exudaban aceite y tenían un aspecto lechoso, esto sugiere que el exceso de MI podría estar interfiriendo con la transparencia y el acabado final de la película.

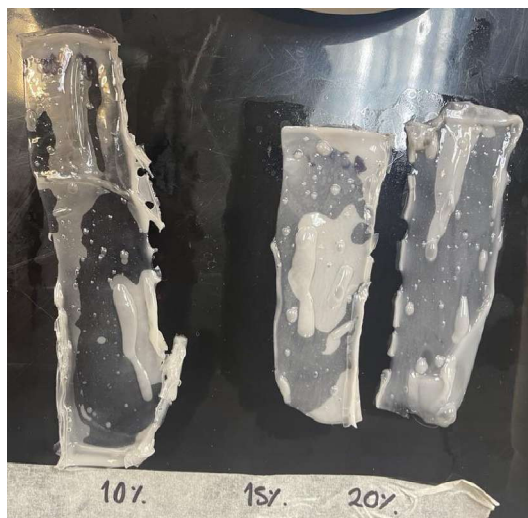


Figura 6. Películas con Miristato de Isopropilo a 10,15 y 20%

En el caso de los porcentajes más bajos (Figura 7), el 5% mostraba una buena flexibilidad, no obstante, al transcurrir un par de horas comenzaba a exudar aceite, lo que podría comprometer su estabilidad a largo plazo. Por el contrario, el 1% no exudaba aceite, siendo positivo para la estabilidad, sin embargo, no mostraba una buena flexibilidad provocando que la película se quebrara fácilmente. Por último, con el 2%, mostró las mejores propiedades: una película con flexibilidad positiva, buena transparencia y un acabado uniforme, sin los aspectos negativos observados en las concentraciones anteriores.



Figura 7. Películas con Miristato de Isopropilo 1, 2 y 5%

La transparencia de una película y su homogeneidad depende de la temperatura mínima de formación de película (MFFT) (Figura 8) (Velasco, 2022), si la MFFT es menor se puede obtener una película quebradiza y opaca, como sucedió en la película al 1%. En cambio, la

formulación al 2% formó una película más homogénea logrando una perfecta interdifusión de las cadenas poliméricas disminuyendo los espacios interparticulares de la película, lo que permitió que la luz no se dispersara consiguiendo una película ópticamente transparente (Figura 9).

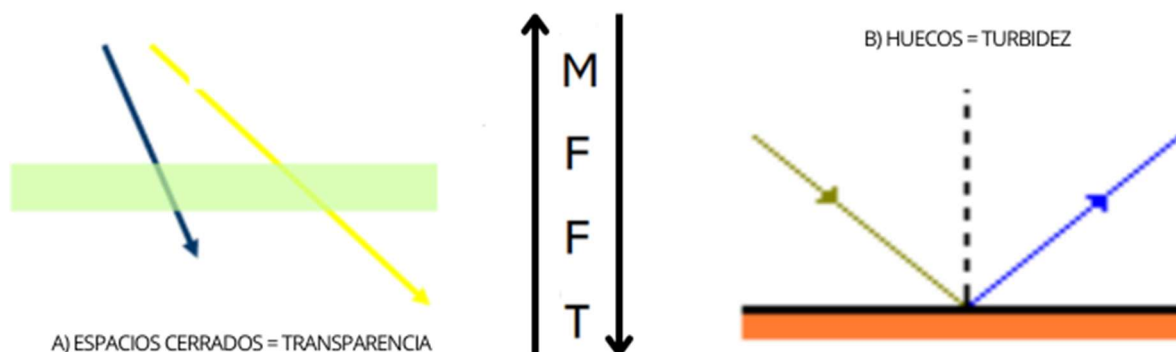


Figura 8. Propiedades ópticas de una película (Velasco, 2022)

Como plastificante secundario se utilizó el TTO, este aceite ha demostrado tener efectos bactericidas en patologías dermatológicas contra bacterias grampositivas y gramnegativas (Corona-Gómez et al., 2022), además varios informes han demostrado sus efectos antifúngicos en cepas de las especies *Fusarium*, *Aspergillus* y *Candida* (Yasin et al., 2021). En el caso de la onicomiosis, se ha evaluado su efecto como tratamiento alternativo, ya que se ha observado la susceptibilidad en las especies *T. rubrum*, *T. mentagrophytes* y *Epidermophyton floccosum*, los cuales son los hongos que generan esta infección. (Carson et al., 2006). La cantidad utilizada de TTO en la formulación se fijó al 2.5% dado que en este porcentaje se le atribuyen sus efectos bactericidas y antimicóticos, la adición de este ingrediente al barniz le confiere una mayor flexibilidad a las películas, además, le proporciona un uso terapéutico, otorgando un valor adicional al barniz ya que su uso no solo cumpliría una función estética, sino también funcional.



Figura 9. Aplicación de la formulación final en uña.

Al aplicar el barniz de uñas, el tiempo de secado fue de aproximadamente de 1 a 2 minutos y su desempeño fue positivo. Sin embargo, la durabilidad se vio afectada por factores individuales relacionados con cada persona que lo utilizó.

Por último, se añadió un pigmento de color azul, donde se observó su compatibilidad al incorporarse con la formulación (Figura 10) y se pudo distribuir el color de una forma homogénea al ponerlo sobre la uña para conseguir el efecto estético de un barniz de uñas tradicional.



Figura 10. Formulación final con pigmento.

8.3 VISCOSIDAD

La viscosidad es una propiedad física, comúnmente presente en los líquidos, que describe la resistencia al flujo o al movimiento del mismo, en el caso de los barnices es un indicador preliminar de las características del polímero utilizado (Llaguno, 2012). Otro factor que influye en la viscosidad de los barnices de uñas es la cantidad y tipo de disolvente. Esta característica es de suma importancia ya que la viscosidad del producto final influye de forma directa en su comportamiento y rendimiento. Para determinar el tipo de fluido mediante un viscosímetro, en este caso, se utilizó el Brookfield RVT a tres velocidades con ayuda de la aguja RV-1. En la Tabla 4 se pueden visualizar los datos registrados, se hizo el promedio de las lecturas (Tabla 5) que al ser graficados muestran el comportamiento de un fluido no Newtoniano, el cual se clasifica en dos tipos: pseudoplásticos y dilatantes (Figura 11).

Velocidad (rpm)	Torque	Constante	cPs
20	7.4	5	37
20	7.2	5	36
20	7.4	5	37
50	27.4	2	54.8
50	27.4	2	54.8
50	27.6	2	55.2
100	74.5	1	74.5
100	75.4	1	75.4
100	75.5	1	75.5

Tabla 4. Resultados del viscosímetro Brookfield RVT formulación con Miristato de Isopropilo al 2%

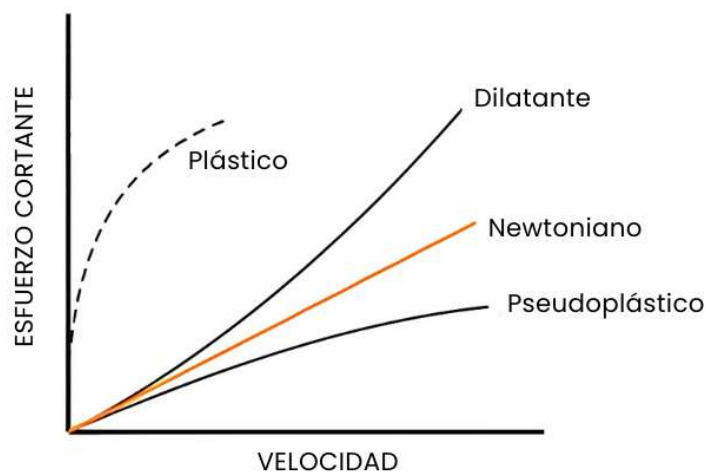


Figura 11. Gráfico comportamiento reológico de los fluidos (Xu et al., 2021)

El comportamiento obtenido del análisis reológico muestra un comportamiento dilatante, ya que al graficar los promedios de los datos (Figura 12), se observa que la formulación presenta un aumento de la viscosidad con la velocidad de corte.

Velocidad (rpm)	Torque
20	7.333
50	27.467
100	75.133

Tabla 5. Promedio de los resultados del viscosímetro Brookfield RVT formulación Miristato de Isopropilo al 2% (n=3)

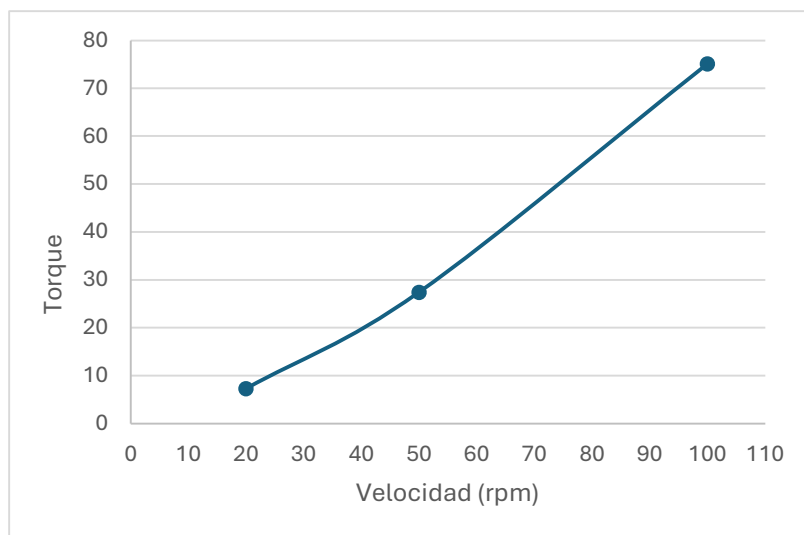


Figura 12. Gráfico viscosidad promedio de la formulación con MI al 2% (velocidad de deformación vs torque)

8.4 ADHESIÓN

Una de las propiedades cruciales que debe tener una película es la adhesión, ya que esta característica evita el paso de agentes externos al sustrato, en este caso a la uña. Además, una buena adherencia influye de forma directa la duración del barniz y un mejor acabado. Para evaluar la adhesión de las películas se utilizó el texturómetro con ayuda de sus aditamentos (Figura 13).



Figura 13. Prueba de adhesión texturómetro de Brookfield.

En esta prueba se obtuvieron dos datos: la carga máxima, que nos ayuda a determinar la resistencia de la película; y el trabajo, que nos proporciona el esfuerzo total necesario para desprender la película de la placa. Para tener una idea del comportamiento a corto y largo plazo de la formulación se realizó la prueba a los 2 y 7 días de secado de las películas. A los datos obtenidos presentados en las Tablas 6 y 7 se les determinó el promedio, desviación estándar (Desv. Est.) y coeficiente de variación (C.V). Posteriormente, los resultados obtenidos del Trabajo (mJ) se sometieron a un análisis estadístico (Tabla 8) para observar si había un cambio significativo en la adhesión del barniz.

# Muestra	Carga Máxima (g)	Trabajo (mJ)
1	2778	401.88
2	2257	293.14
3	1824	186.93
4	2870	291.43
5	2843	447.81
6	2167.50	303.38
7	2425.50	259.68
8	2482.50	438.01
Promedio	2455.937	327.782
Desv. Est.	368.149	92.305
C.V.	14.99%	28.16%

Tabla 6. Resultados de Adhesión en el Texturómetro de Brookfield para películas realizadas después de 2 días.

# Muestra	Carga Máxima (g)	Trabajo (mJ)
1	1911	142.95
2	3233.50	142.95
3	2231	161.43
4	3361	277.45
5	2821.50	103.59
6	2403.50	270.62
7	2246.50	293.28
8	2562.50	179.35
Promedio	2596.312	196.452
Desv. Est.	507.832	73.001
C.V.	19.56%	37.16%

Tabla 7. Resultados de Adhesión en el Texturómetro de Brookfield para películas realizadas después de 7 días

De acuerdo al análisis estadístico se pudo observar que el promedio del trabajo disminuyó con el paso del tiempo. Dicho de otra forma, la adhesión fue menor al día 7 en comparación del día 2. En el caso de la prueba de t de Student (Figura 14), el valor crítico obtenido fue de 1.8946, mientras que el valor del estadístico t obtenido fue 2.6262, siendo este último mayor, lo que indica que si existe una diferencia significativa entre las mediciones del día 2 y el día 7. Lo anterior se confirma con el valor P de 0.01705, el cual es menor que el nivel de significancia comúnmente utilizado (0.05). De acuerdo con el análisis estadístico de t de Student, se puede determinar que la adherencia se ve afectada por el tiempo. Por lo tanto, se podría decir que las películas del día 2 soportan más carga que al día 7, es decir tienen mejor adherencia.

	Películas después de dos días	Películas después de siete días
<i>Media</i>	327.782	196.452
<i>Varianza</i>	8520.229	5329.218
<i>Observaciones</i>	8	8
<i>Coeficiente de correlación de Pearson</i>	-0.457	
<i>Diferencia hipotética de las medias</i>	0	
<i>Grados de libertad</i>	7	
<i>Estadístico t</i>	2.626	
<i>P(T<=t) una cola</i>	0.017	
<i>Valor crítico de t (una cola)</i>	1.894	

Tabla 8. Análisis estadístico de los resultados de adhesión.

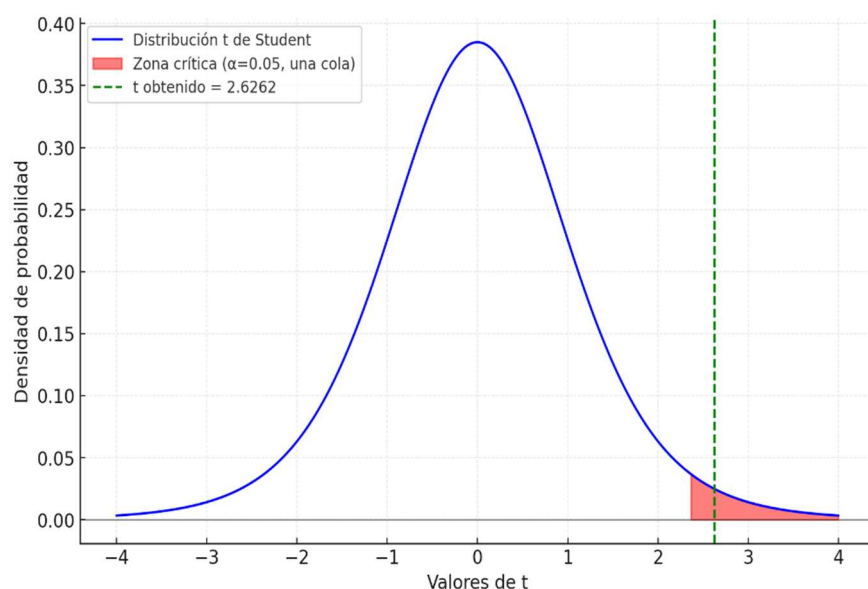


Figura 14. Distribución t de Student una cola de los datos estadísticos de adhesión.

8.5 PÉRDIDA DE PLASTIFICANTES POR SECADO

Al observar la pérdida de adhesión de las películas obtenidas, también se notó de forma cualitativa una pérdida de flexibilidad al pasar los días, estos cambios se le atribuyó a la pérdida uno o ambos plastificantes, los cuales son los encargados de mantener estas propiedades después de haberse evaporado los disolventes. Para evaluar este fenómeno, se sometieron las películas a la termobalanza para así poder medir la pérdida de peso y el porcentaje de evaporación de los plastificantes (Tabla 9).

No. de muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia de Peso (g)	% Sólido	% Regain	% Materia volátil
1	0.777	0.753	0.024	96.61	-3.19	3.09
2	0.780	0.753	0.027	96.54	-3.59	3.46
3	0.828	0.805	0.023	97.22	-2.86	2.78
Promedio	0.795	0.770	0.025	96.790	-3.213	3.110
Desv. Est.	0.029	0.030	0.002	0.374	0.366	0.340
C.V.	3.60%	3.90%	8.44%	0.39%	-11.38%	10.95%

Tabla 9. Resultados termobalanza para la formulación con TTO & MI a 100°C.

Tras notar una pérdida de peso en las películas después de la prueba en la termobalanza, y para descartar que esto se debiera a residuos de disolvente, se realizaron dos lotes de

películas: uno solo con TTO y otro solo con Miristato de Isopropilo. Los datos recopilados se presentan en las Tablas 10 y 11.

No. de muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia de Peso (g)	% Sólido	% Regain	% Materia volátil
1	0.720	0.688	0.032	95.56	-4.65	4.44
2	0.733	0.704	0.029	96.04	-4.12	3.96
3	0.735	0.71	0.025	96.6	-3.52	3.4
Promedio	0.729	0.701	0.029	96.067	-4.097	3.933
Desv. Est.	0.008	0.011	0.003	0.520	0.565	0.520
C.V.	1.12%	1.62%	12.25%	0.54%	13.80%	13.23%

Tabla 10. Resultados termobalanza para la formulación únicamente con TTO a 100°C.

No. de muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia de Peso (g)	% Sólido	% Regain	% Materia volátil
1	0.652	0.635	0.017	97.39	-2.68	2.61
2	0.662	0.645	0.017	97.43	-2.64	2.57
3	0.653	0.64	0.013	98.01	-2.03	1.99
Promedio	0.656	0.640	0.016	97.610	-2.450	2.390
Desv. Est.	0.005	0.005	0.002	0.347	0.364	0.347
C.V.	0.84%	0.78%	14.74%	0.36%	14.87%	14.52%

Tabla 11. Resultados termobalanza para la formulación únicamente con MI a 100°C.

El término % de Regain en la termobalanza se refiere al contenido de materia volátil que un material puede recuperar en relación con su peso seco, además, permite observar la pérdida de masa de una muestra y analizar la estabilidad térmica del material. En este caso, ayudó a evaluar la pérdida de plastificantes en los tres lotes obtenidos. Para determinar si existe una diferencia significativa entre la pérdida de peso (% Regain) de los tres lotes, los datos de las tablas anteriores se sometieron a un análisis estadístico. Los datos recopilados se muestran en las Tablas 12, 13 y 14.

En el caso de las películas con TTO+MI y solo TTO, las medias muestran una menor pérdida de peso promedio para las películas que tienen ambos plastificantes (TTO+MI). Para la prueba de hipótesis, dado que el estadístico t (2.2725) es mayor que el valor crítico (2.1318),

y el p-valor (0.0427) es menor que 0.05, se observa que hay una diferencia significativa en la pérdida de peso entre ambos lotes. Lo siguiente se puede visualizar en la Figura 15.

	<i>TTO+MI</i>	<i>TTO</i>
<i>Media</i>	-3.213	-4.097
<i>Varianza</i>	0.133	0.319
<i>Observaciones</i>	3	3
<i>Varianza agrupada</i>	0.226	
<i>Diferencia hipotética de las medias</i>	0	
<i>Grados de libertad</i>	4	
<i>Estadístico t</i>	2.272	
<i>P(T<=t) una cola</i>	0.042	
<i>Valor crítico de t (una cola)</i>	2.131	

Tabla 12. Análisis estadístico de los resultados de las películas con Tea Tree Oil & Miristato de Isopropilo vs solo Tea Tree Oil

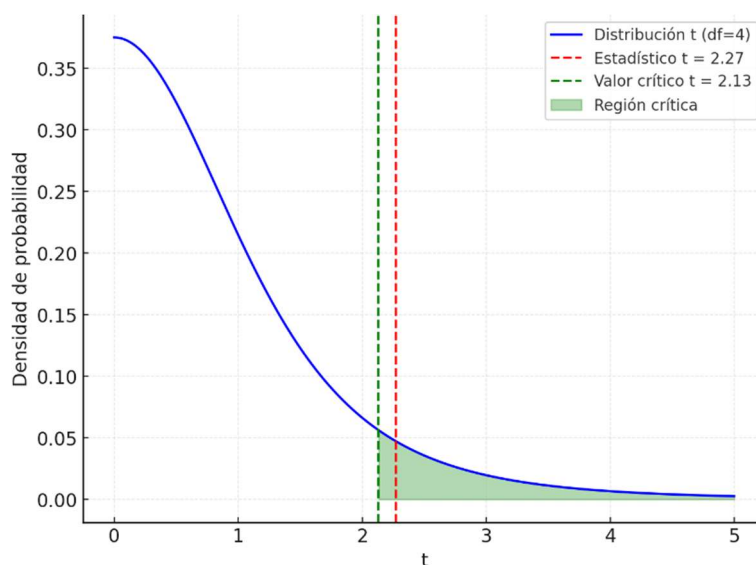


Figura 15. Distribución t de Student una cola para los datos estadísticos del % Regain (TTO+MI vs TTO)

Ahora bien, para las películas con TTO+MI y solo MI, en las medias se puede notar que la pérdida de peso es mayor para las películas que contienen los dos plastificantes. En la prueba de hipótesis, el estadístico t (-2.5620) cae fuera del rango del valor crítico (-2.131)

como se puede ver en la Figura 16 y el p-valor (0.031) es menor que 0.05, mostrando que la diferencia de peso entre los lotes si es significativa.

	TTO+MI	MI
Media	-3.213	-2.45
Varianza	0.133	0.132
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.133	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-2.561	
P(T<=t) una cola	0.031	
Valor crítico de t (una cola)	2.131	

Tabla 13. Análisis estadístico de los resultados de las películas con Tea Tree Oil & Miristato de Isopropilo vs solo Miristato de Isopropilo

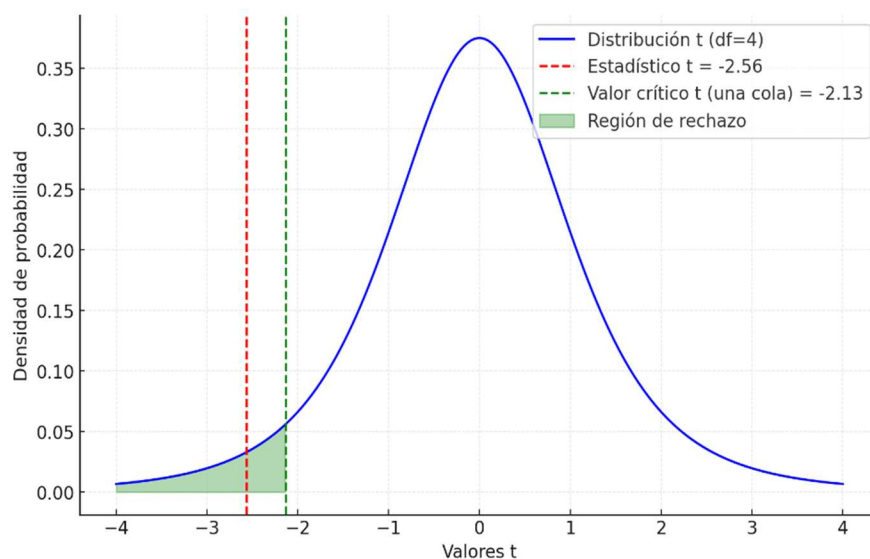


Figura 16. Distribución t de Student una cola para los datos estadísticos del % Regain (TTO+MI vs MI)

Por último, al comparar la media de las películas que solo contienen TTO contra las que solo contienen MI, se observa que las películas que contienen Tea Tree Oil (TTO) presentan una mayor pérdida de peso. Con respecto a la prueba de hipótesis, dado que el estadístico t (-4.2407) no entra en el rango del valor crítico (-2.1318), y el p-valor (0.0066) es menor que 0.05 (Figura 17) se puede concluir que la diferencia entre estos lotes es significativa.

	TTO	MI
Media	-4.097	-2.45
Varianza	0.319	0.132
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0.226	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-4.240	
P(T<=t) una cola	0.006	
Valor crítico de t (una cola)	2.131	

Tabla 14. Análisis estadístico de los resultados de las películas con Tea Tree Oil vs Miristato de Isopropilo

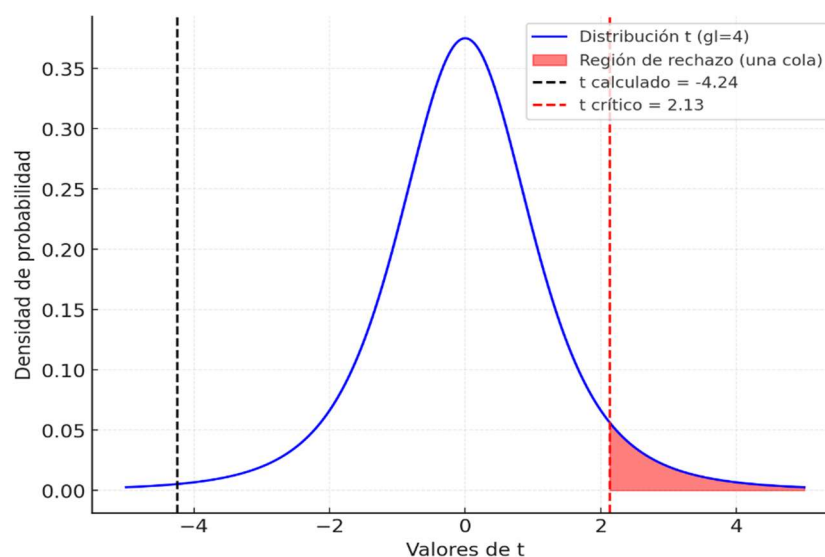


Figura 17. Distribución t de Student una cola para los datos estadísticos del % Regain (TTO vs MI)

Al analizar en conjunto los datos estadísticos presentados anteriormente, se puede identificar una pérdida significativa de plastificante en los tres lotes. Sin embargo, comparando los promedios del % de Regain (Tabla 15) se observa que el porcentaje de pérdida de peso es mayor en la formulación que contiene únicamente TTO. Esto se debe a que el TTO es un aceite esencial altamente volátil debido a su composición química, especialmente en los terpenos que contiene como el terpinen-4-ol, que es su componente

principal (Hart et al., 2000). Lo cual indica que la presencia del TTO reduce la estabilidad térmica de las películas, provocando que disminuya la elasticidad y generando una resistencia menor al estrés mecánico, por lo que la pérdida de adhesión y flexibilidad se le atribuye al TTO. Por otra parte, también se puede notar que la combinación de MI con TTO en la formulación disminuye el porcentaje de pérdida de peso y mejora la estabilidad térmica de las películas. Esto podría atribuirse al MI, ya que tiene un punto de ebullición aproximado de 350°C (National Center for Biotechnology Information, 2025), lo que podría favorecer a una menor volatilización de los plastificantes en conjunto. No obstante, la pérdida de adhesión podría ser beneficiosa para el uso constante del barniz, dado que al ser un posible tratamiento contra el hongo que causa la onicomycosis, se espera que el barniz sea aplicado de forma continua sobre la uña para lograr un efecto terapéutico óptimo.

Formulación	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Diferencia de Peso (g)	% Sólido	% Regain	% Materia volátil
<i>TTO+MI</i>	0.80	0.77	0.02	96.79	-3.213	3.11
<i>TTO</i>	0.73	0.70	0.03	96.07	-4.097	3.93
<i>MI</i>	0.66	0.64	0.02	97.61	-2.450	2.39

Tabla 15. Resumen promedios obtenidos en la termobalanza de las formulaciones TTO+MI, TTO & MI

8.6 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

La técnica microscopía electrónica de barrido (SEM por sus siglas en inglés) se basa en el análisis topográfico, estructural y composicional de materiales. El principio de este método se fundamenta en la generación de un haz de electrones de alta energía (o electrones incidentes EI), que es focalizado mediante un sistema de lentes y dirigido hacia la muestra. Al impactar la muestra, se producen electrones secundarios (SE) y retrodispersados (BSE), los cuales son detectados y registrados. La información obtenida se convierte en señales digitales, que luego se interpretan como variaciones en la intensidad de color para generar una imagen (Clavijo, 2013). El mecanismo de función y sus componentes son representados en la Figura 18.



Figura 18. Estructura y componentes del Scanning Electron Microscope (Mohammed & Abdullah, 2018)

Una de las principales aplicaciones del SEM es el estudio de películas, ya que permite obtener imágenes detalladas de su superficie y estructura. Gracias a esta técnica, se obtuvieron micrografías donde se puede observar a detalle la superficie de las películas obtenidas (Tabla 16), donde se visualizó una película uniforme como resultado de las interacciones de las cadenas poliméricas entre sí.

<i>Microscopía 100x</i>	<i>Microscopía 500x</i>	<i>Microscopía 1500x</i>

Tabla 16. Microscopías de la película obtenida a 100x, 500x y 1500x

IX. CONCLUSIONES

Se logró desarrollar una formulación para barniz de uñas mediante el uso de poliestireno expandido como agente formador de película (EPS). Se consiguió optimizar el método de densificación del poliestireno expandido mediante un tratamiento térmico facilitando su manipulación en el procedimiento. Además, se obtuvo que el disolvente ideal fue el Acetato de Etilo, mostrando mejor eficiencia al disolver el EPS, y se detectó su afinidad con el Miristato de Isopropilo (MI). Asimismo, se determinaron los porcentajes de los ingredientes en la formulación. En el caso de los plastificantes, se determinó que la cantidad al 2% de MI fue la óptima para la obtención de una película con propiedades positivas en cuanto a flexibilidad, transparencia y acabado, sin exudar aceite ni aspecto lechoso. Por otra parte, se observó la compatibilidad del *Tea Tree Oil* con el resto de los ingredientes aumentando la flexibilidad de la película y aportando posibles propiedades antimicóticas y bactericidas a la formulación. Por último, se logró la incorporación homogénea de los pigmentos para lograr el efecto estético de un barniz de uñas tradicional.

Además, se evaluó la viscosidad del barniz obteniendo que el comportamiento de la formulación corresponde a un fluido no Newtoniano. Por otra parte, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de las películas. En cuanto a la adhesión, mediante el uso del texturómetro y gracias al análisis estadístico de la carga máxima y el trabajo, se mostró que las películas cuentan con buena adherencia, no obstante, disminuye con el paso de los días. También, se determinó la pérdida de plastificantes por secado de las películas con ayuda de la termobalanza y a través del análisis estadístico del porcentaje de Regain, se determinó que la pérdida de flexibilidad y adhesión están relacionadas directamente con la pérdida por evaporación del TTO debido su alta volatilidad.

Finalmente, gracias a las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido se pudo analizar la superficie de la película donde se visualizó una película uniforme y libre de irregularidades.

X. PERSPECTIVAS

Evaluar la formulación en condiciones reales de uso observando el desempeño y las propiedades de desgaste, resistencia y durabilidad en uñas para determinar que el barniz es eficaz y cumpla con el rendimiento.

Realizar el escalamiento de la metodología considerando la factibilidad de los procesos industriales y ampliando el tamaño de los lotes, para replicar, adaptar y optimizar las condiciones asegurando un proceso eficiente

Evaluar la rentabilidad de la producción del barniz de uñas para su implementación comercial.

Adición de un disolvente secundario para mejorar el tiempo de secado de la película, la viscosidad y la facilidad de aplicación del producto sobre la uña.

Análisis de estudios de la formulación *in vitro* e *in vivo* contra los hongos que generan la onicomycosis en las uñas para determinar su efectividad como tratamiento en esta infección.

XI. REFERENCIAS

- AbdelHamid, D., Gomaa, A., Mohammed, G. F., Eyada, M. M., & Mohamed, A. (2017). Evaluation of the Therapeutic Efficacy of Tea Tree Oil in Treatment of Onychomycosis. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 9(12), 1414–1420. <https://doi.org/10.25258/phyto.v9i11.11184>
- Arthuz-López, L., & Pérez-Mora, W. (2019). Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. *Informador Técnico*. <https://doi.org/10.23850/22565035.1638>
- Borotová, P., Galovičová, L., Vukovic, N. L., Vukic, M., Tvrdá, E., & Kačániová, M. (2022). Chemical and Biological Characterization of Melaleuca alternifolia Essential Oil. *Plants*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/plants11040558>
- Cabrera, I., Rückel, M., Boyko, V., Baumstark, R., & Willerich, I. (2022). Quick Curing Mechanisms for All-Season Paints and Renders. *Materials*, 15(20), 7397. <https://doi.org/10.3390/ma15207397>
- Carson, C. F., Hammer, K. A., & Riley, T. V. (2006). Melaleuca alternifolia (tea tree) oil: A review of antimicrobial and other medicinal properties. In *Clinical Microbiology Reviews* (Vol. 19, Issue 1, pp. 50–62). <https://doi.org/10.1128/CMR.19.1.50-62.2006>
- Clavijo, J. (2013). Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). *Elementos*, 3(3).
- Corona-Gómez, L., Hernández-Andrade, L., Mendoza-Elvira, S., Suazo, F. M., Ricardo-González, D. I., & Quintanar-Guerrero, D. (2022). In vitro antimicrobial effect of essential tea tree oil (Melaleuca alternifolia), thymol, and carvacrol on microorganisms isolated from cases of bovine clinical mastitis. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 10(1), 72–79. <https://doi.org/10.1080/23144599.2022.2123082>
- De Sousa Cunha, R., Mumbach, G. D., Machado, R. A. F., & Bolzan, A. (2021). A comprehensive investigation of waste expanded polystyrene recycling by dissolution technique combined with nanoprecipitation. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100470. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100470>
- Doria Serrano, Ma. del C. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Educación Química*, 20(4), 412–420. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30044-2](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30044-2)
- Draelos, Z. D. (2013). Cosmetic treatment of nails. *Clinics in Dermatology*, 31(5), 573–577. <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2013.06.008>
- ECOPLAS. (2020). *Los aportes del EPS POLIESTIRENO EXPANDIDO para la economía circular*. <https://Ecoplas.Org.Ar/Site2020/Wp-Content/Uploads/2020/11/Boletin-56-EPS-Poliestireno-Expandido-En-EC-1.Pdf>. www.ecoplas.org.ar

- Elewski, B. E. (1998). Onychomycosis: Pathogenesis, Diagnosis, and Management. *CLINICAL MICROBIOLOGY REVIEWS*, 11(3), 415–429. <https://doi.org/10.1128/cmr.11.3.415>
- Espinoza-Merchán, M. P., Torres-Parra, L. J., Rojas-Arias, N., & Cocha-Vesga, P. M. (2020). Recovery and Incorporation of expanded polystyrene Solid Waste in Lightweight Concrete. *Ingeniería (Colombia)*, 25(3), 237–249. <https://doi.org/10.14483/23448393.15681>
- Gil-Jasso, N. D., Segura-González, M. A., Soriano-Giles, G., Neri-Hipolito, J., López, N., Mas-Hernández, E., Barrera-Díaz, C. E., Varela-Guerrero, V., & Ballesteros-Rivas, M. F. (2019). Dissolution and recovery of waste expanded polystyrene using alternative essential oils. *Fuel*, 239, 611–616. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.11.055>
- Hart, P. H., Brand, C., Carson, C. F., Riley, T. V., Prager, R. H., & Finlay-Jones, J. J. (2000). Terpinen-4-ol, the main component of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil), suppresses inflammatory mediator production by activated human monocytes. *Inflammation Research*, 49(11), 619–626. <https://doi.org/10.1007/s000110050639>
- Hernández, M. (2018). *Desarrollo y optimización de un método basado en la técnica de emulsificación-difusión por desplazamiento de solvente para obtener nanopartículas de poliestireno a partir de material de reciclaje*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Knowlton, J., & Pearce, S. (1993). *Handbook of cosmetic science and technology* (1st ed.). Elsevier Advanced Technology.
- Llaguno, J. (2012). *Síntesis y caracterización de la p-toluenosulfonamida formaldehído para su aplicación en la industria cosmetológica* [[Tesis de Licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]]. <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/24739/1/SINTESIS%20Y%20CARACTERIZACION%20DE%20LA%20pTOLUENSULFONAMIDA%20FORMALDEHIDO%20PARA%20SU%20APLICACION%20EN%20LA%20INDUSTRIA%20COSMETOLOGICA.pdf>
- López, D., Rhenals, P., Tangarife, M. A., Vega, K., Rendón, L., Vélez, Y., & Ramírez, M. (2014). Tratamiento de residuos de poliestireno expandido utilizando solventes verdes. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 8(1). <http://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas>
- Martínez López, C., & Laines Canepa, J. R. (2014). Poliestireno Expandido (EPS) y su problemática ambiental. *Kuxulkab'*, 19(36). <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a19n36.339>
- Mendoza, L. (2011). *Efecto de las variables del proceso de recubrimiento sobre la obtención de películas farmacéuticas a partir de pseudolátexes de resinas acrílicas* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2012/enero/0676754/Index.html>

- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018). SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM): A REVIEW. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics*, 7. <https://fluidas.ro/hervex/proceedings2018/77-85.pdf>
- Moniruzzaman, M., Houlihan, E., Parker, M., & Wilson, I. (2023). Stability and hazard properties of improvised nitrocellulose. *Journal of Energetic Materials*. <https://doi.org/10.1080/07370652.2023.2175393>
- National Center for Biotechnology Information. (2025). *PubChem Compound Summary for CID 8042, Isopropyl Myristate*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Isopropyl-Myristate>.
- Ortíz, H. (2014). *Estudio de la interacción entre el proceso de extrusión y el EPS* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/202533>
- Pájaro, N., & Olivero, J. (2011). *Química Verde: Un nuevo reto*. 21(2), 169–182. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91123440009>
- Perez, J. (1996). *Los cuerpos moldeables del poliestireno expansible en la construcción*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ramli Sulong, N. H., Mustapa, S. A. S., & Abdul Rashid, M. K. (2019). Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and constructions: A review. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(20). <https://doi.org/10.1002/app.47529>
- Reyes, Y. (2007). *Modelación molecular y evaluación del proceso de formación de película a partir de dispersiones poliméricas coloidales* [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/pd2007/0621869/Index.html>
- Salisu, A., & Maigari, Y. S. (2021). Polystyrene and its recycling: A review. *Proceedings of Materials Science and Technology Society of Nigeria*, 195–203. <https://www.researchgate.net/publication/359135360>
- Sandewicz, R. W. (2017). Formulation of Nail Care Products. In D. Nava (Ed.), *Handbook of Formulating Dermal Applications: A Definitive Practical Guide*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sierra, A., Meléndez, L., Ramírez-Monroy, A., & Arroyo, M. (2015). La química verde y el desarrollo sustentable / Green chemistry and sustainable development. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, 5(9), 1. <https://doi.org/10.23913/ride.v5i9.1>
- Stadler, B. M., & De Vries, J. G. (2021). Chemical upcycling of polymers. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 379, Issue 2209). Royal Society Publishing. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0341>
- Tanvir, A., Faruq, M., & Nor-Azah, Y. (2014). Applications of polystyrene and its role as a base in industrial chemistry. In C. Lynwood (Ed.), *Polystyrene: synthesis, characteristics and applications* (pp. 269–280). Nova Science Publishers. <https://goo.su/ml9l9V>

- Vargas Afanador, E., & Ruíz Pimiento, L. (2007). *Química Verde en el siglo XXI; química verde, una química limpia*. XIX(1), 29–32. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543706009>
- Velasco, V. (2022). *Desarrollo y Evaluación de Películas a partir de Nanopartículas de Poliestireno Expandido (EPS) Proveniente de Material de Reciclaje y su Aplicación en Superficies Porosas* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2022/agosto/0829234/Index.html>
- Wilkinson, J. B., & Moore, R. J. (1990). *Cosmetología de Harry*. Díaz de Santos.
- Xu, Y., Xue, Y., Qi, H., & Cai, W. (2021). An updated review on working fluids, operation mechanisms, and applications of pulsating heat pipes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110995. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110995>
- Yasin, M., Younis, A., Javed, T., Akram, A., Ahsan, M., Shabbir, R., Ali, M. M., Tahir, A., El-ballat, E. M., Sheteiwy, M. S., Sammour, R. H., Hano, C., Alhumaydhi, F. A., & El-Esawi, M. A. (2021). River tea tree oil: Composition, antimicrobial and antioxidant activities, and potential applications in agriculture. In *Plants* (Vol. 10, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/plants10102105>
- Zhao, X., Boruah, B., Chin, K. F., Đokić, M., Modak, J. M., & Soo, H. Sen. (2022). Upcycling to Sustainably Reuse Plastics. In *Advanced Materials* (Vol. 34, Issue 25). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/adma.202100843>