

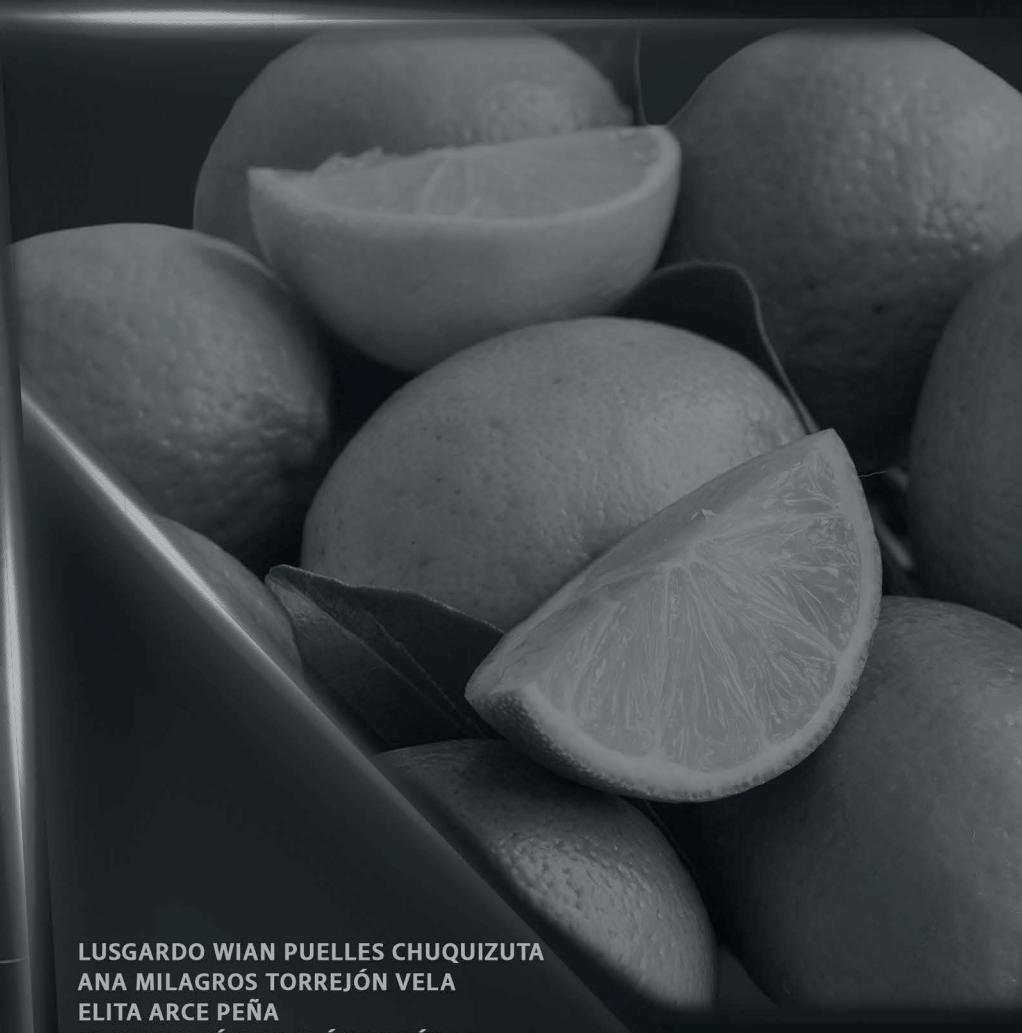
UTILIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE CITRUS X LATIFOLIA (LIMÓN TAHITÍ) PARA LA BIODEGRADACIÓN DE ENVASES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO



LUSGARDO WIAN PUELLES CHUQUIZUTA
ANA MILAGROS TORREJÓN VELA
ELITA ARCE PEÑA
SEGUNDO VÍCTOR LEÓN RAMÍREZ
HÉCTOR MANUEL SUAREZ RÍOS
JEYSI SOTERO CHUMBE
ISABEL CRISTINA PEREA DEL ÁGUILA
TONY VENANCIO PEREYRA GONZALES
CESAR AUGUSTO FLORES TANANTA
VÍCTOR ENRIQUE VÁSQUEZ CUEVA



UTILIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE **CITRUS X LATIFOLIA (LIMÓN TAHITÍ)** PARA LA BIODEGRADACIÓN DE ENVASES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO



LUSGARDO WIAN PUELLES CHUQUIZUTA
ANA MILAGROS TORREJÓN VELA
ELITA ARCE PEÑA
SEGUNDO VÍCTOR LEÓN RAMÍREZ
HÉCTOR MANUEL SUAREZ RÍOS
JEYSI SOTERO CHUMBE
ISABEL CRISTINA PEREA DEL ÁGUILA
TONY VENANCIO PEREYRA GONZALES
CESAR AUGUSTO FLORES TANANTA
VÍCTOR ENRIQUE VÁSQUEZ CUEVA

2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira Scheffer

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

A Atena Editora mantém um compromisso firme com a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, assegurando que os padrões éticos e acadêmicos sejam rigorosamente cumpridos. Adota políticas para prevenir e combater práticas como plágio, manipulação ou falsificação de dados e resultados, bem como quaisquer interferências indevidas de interesses financeiros ou institucionais.

Qualquer suspeita de má conduta científica é tratada com máxima seriedade e será investigada de acordo com os mais elevados padrões de rigor acadêmico, transparência e ética.

O conteúdo da obra e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade, são de responsabilidade exclusiva do autor, não representando necessariamente a posição oficial da Atena Editora. O download, compartilhamento, adaptação e reutilização desta obra são permitidos para quaisquer fins, desde que seja atribuída a devida autoria e referência à editora, conforme os termos da Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Os trabalhos nacionais foram submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial da editora, enquanto os internacionais passaram por avaliação de pareceristas externos. Todos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Utilización del aceite esencial de Citrus x latifolia (limón Tahití) para la biodegradación de envases de poliestireno expandido.

| Autores:

Lusgardo Wian Puelles Chuquiza
Torrejón Vela Ana Milagros
Arce Peña Elita
Segundo Víctor León Ramírez
Héctor Manuel Suarez Ríos
Sotero Chumbe Jeysi
Perea del Águila Isabel Cristina
Tony Venancio Pereyra Gonzales
Cesar Augusto Flores Tananta
Víctor Enrique Vásquez Cueva

| Revisión:

Los autores

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)	
U89	Utilización del aceite esencial de Citrus x latifolia (limón Tahiti) para la biodegradación de envases de poliestireno expandido / Lusgardo Wian Puelles Chuquiza, Torrejón Vela Ana Milagros, Arce Peña Elita, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025. Otros autores Segundo Víctor León Ramírez Héctor Manuel Suarez Ríos Sotero Chumbe Jeysi Perea del Águila Isabel Cristina Tony Venancio Pereyra Gonzales Cesar Augusto Flores Tananta Víctor Enrique Vásquez Cueva Formato: PDF Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acceso: World Wide Web Incluye bibliografía ISBN 978-65-258-3503-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.037251508 1. Tratamiento de residuos sólidos. I. Chuquiza, Lusgardo Wian Puelles. II. Torrejón Vela, Ana Milagros. III. Arce Peña, Elita. IV. Título. CDD 628.445
Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora

📞 +55 (42) 3323-5493

📞 +55 (42) 99955-2866

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto: contato@atenaeditora.com.br)

CONSELHO EDITORIAL

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Prof^a Dr^a. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Elio Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^a Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^a Dr^a Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Cândido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
Prof^a Dr^a Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

El presente libro, *Utilización del aceite esencial de Citrus x latifolia (limón Tahiti) para la biodegradación de envases de poliestireno expandido*, se inscribe en la urgente necesidad de replantear el uso de materiales no biodegradables y su impacto en los ecosistemas. En un contexto global donde el plástico, y en particular el poliestireno expandido (EPS), constituye uno de los principales contaminantes de suelos y cuerpos de agua, esta obra propone una alternativa innovadora desde la biotecnología y la química verde.

A través de una rigurosa investigación científica, el libro explora el potencial del aceite esencial extraído del limón Tahití como catalizador en procesos de biodegradación de envases de EPS. Este enfoque no solo aporta una solución sostenible al problema del manejo de residuos, sino que también abre el camino al aprovechamiento de recursos naturales subutilizados en estrategias de mitigación ambiental. La investigación destaca por su enfoque interdisciplinario, integrando saberes de la química orgánica, la microbiología ambiental y la ingeniería de materiales.

Esta publicación está dirigida tanto a la comunidad académica como a profesionales de áreas afines al medio ambiente, la agricultura sustentable y la industria alimentaria, así como a tomadores de decisiones comprometidos con el desarrollo sostenible. Su lectura permite vislumbrar un horizonte donde la innovación científica dialoga con la responsabilidad ecológica, demostrando que las soluciones al problema del plástico pueden provenir de la propia naturaleza.

Al poner en valor el uso de compuestos bioactivos derivados de plantas como el *Citrus x latifolia*, esta obra contribuye a la construcción de un futuro más limpio, donde el conocimiento se convierte en una herramienta al servicio del equilibrio ambiental.

RESUMEN

RESUMEN

La investigación, titulada "Uso del aceite esencial de Citrus x latifolia (limón Tahití) en la biodegradación de envases de poliestireno expandido, Moyobamba 2024", se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 3 y 13. El objetivo principal fue aplicar el aceite esencial de Citrus x latifolia para facilitar la descomposición de envases de poliestireno expandido en la ciudad de Moyobamba, en el año 2024. La investigación es de tipo aplicada, con un enfoque cuantitativo y un diseño experimental pre-experimental. Se evaluaron diferentes concentraciones de aceite esencial (50%, 70%, 100%), temperaturas (45 °C, 65 °C, 85 °C) y tiempos (60, 90, 120 minutos) para medir su efecto en la biodegradación del poliestireno expandido, con una muestra de 10 kg de EPS. Los hallazgos evidenciaron que con una concentración de D-limoneno de 90.967%, posee un alto potencial de degradación del poliestireno. Se observó una mayor eficiencia con el uso de concentraciones de 70% y tiempos de exposición de 120 minutos a 85 °C. El análisis estadístico, mediante la prueba HSD de Tukey, identificó que la concentración de 70% y la temperatura de 85 °C fueron las condiciones más eficaces, mientras que el tiempo de 120 minutos resultó óptimo para maximizar la biodegradación.

PALABRAS CLAVES: d-limoneno, biodegradación, aceite esencial, poliestireno expandido

ABSTRACT

ABSTRACT

The research, titled "Use of the essential oil of Citrus x latifolia (Tahiti lemon) in the biodegradation of expanded polystyrene packaging, Moyobamba 2024", is aligned with Sustainable Development Goal number 12 and 3. The main objective was to apply the essential oil of Citrus x latifolia to facilitate the decomposition of expanded polystyrene containers in the city of Moyobamba, in the year 2024. The research is applied type, with a quantitative approach and a pre-experimental experimental design. Different concentrations of essential oil (50%, 70%, 100%), temperatures (45 °C, 65 °C, 85 °C) and times (60, 90, 120 minutes) were evaluated to measure their effect on the biodegradation of the expanded polystyrene, with a sample of 10 kg of EPS. The findings showed that with a D-limonene concentration of 90.967%, it has a high degradation potential of polystyrene. Greater efficiency was observed with the use of concentrations of 70% and exposure times of 120 minutes at 85 °C. The statistical analysis, using Tukey's HSD test, identified that the concentration of 70% and the temperature of 85 °C were the most effective conditions, while the time of 120 minutes was optimal to maximize biodegradation.

KEYWORDS: D-limonene, biodegradation, essential oil, expanded polystyrene

SUMÁRIO

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
METODOLOGÍA.....	13
RESULTADOS	16
DISCUSIÓN.....	25
CONCLUSIONES	30
RESOMENDACIONES	31
REFERENCIAS.....	32
AUTORES.....	36



C A P Í T U L O 1

INTRODUÇÃO

El poliestireno expandido (EPS) es utilizado en todo el mundo en diversos sectores industriales, se emplea para proteger tanto equipos como electrodomésticos y como material de embalaje para alimentos. Su popularidad ha crecido significativamente, convirtiéndose en un componente fundamental en muchas aplicaciones. Frente a este aumento en la demanda, se han impulsado investigaciones y desarrollos para optimizar su gestión y manejo de residuos. El EPS destaca por su durabilidad, coste reducido, ligereza y excelentes propiedades aislantes, tanto térmicas como eléctricas. Gracias a su composición química basada en largas cadenas de moléculas de estireno, el poliestireno puede combinarse con otros materiales, lo que abre oportunidades para desarrollar productos innovadores (Gavilán y Palomino, 2023, p. 12).

La presencia y el uso extensivo de plásticos se han convertido en una característica predominante en las actividades humanas contemporáneas, como señalan estudios recientes (Lannacone et al., 2019, p. 3). Las cifras alarmantes muestran que la producción global de plástico se sitúa en torno a los 300 millones de toneladas cada año (Elías, 2015, p. 23). Por su parte, García (2019, p. 95) indica que esta producción masiva conlleva la generación de un asombroso rango de entre 5 y 50 billones de piezas de plástico dispersas por todo el planeta. La acumulación creciente de estos diminutos fragmentos de plástico tiene consecuencias devastadoras para la fauna marina y terrestre. Estos fragmentos pueden ser ingeridos por animales, causando daños internos y problemas de salud que afectan negativamente sus sistemas biológicos, lo que propicia la interferencia con las funciones vitales para mantener el equilibrio ecológico y la biodiversidad (Castañeda et al., 2020, p. 36).

Este problema afecta tanto a los animales como a los ecosistemas de todo el mundo, ya que la contaminación plástica amenaza la salud y la sostenibilidad de los entornos marinos y terrestres. Daña la cadena alimentaria y altera los hábitats naturales, convirtiendo la crisis del plástico en un desafío urgente que exige soluciones y atención a escala global. (Rojo y Montoto, 2017, p. 32).

A nivel mundial, al menos el 6% de la producción total de plástico corresponde al poliestireno (PS), el cual es utilizado en muchas aplicaciones, como cubiertos de plástico desechables, aislamiento de edificios, recipientes para comida para llevar y materiales de embalaje, gracias a su ligereza, rigidez y capacidad de moldeado (Wang,

2021, p. 24). Sin embargo, el poliestireno conlleva varios problemas ambientales y de contaminación. A pesar de los esfuerzos significativos para recuperar los residuos plásticos, las tasas de reciclaje siguen siendo bajas. Además de los problemas ambientales asociados con los EPS, el estireno, uno de sus monómeros, también afecta directamente a los seres humanos, siendo un agente causal de diversas enfermedades, incluido el cáncer (Xu, 2023, p. 34).

Los envases de tecnopor pueden tardar hasta mil años en descomponerse completamente, lo que plantea una preocupación ambiental importante. Además, su uso en contacto con alimentos calientes puede ser perjudicial para la salud, ya que es posible que liberen sustancias tóxicas que presentan riesgos para el cuerpo humano. Resulta fundamental evaluar opciones más seguras y sostenibles para mitigar tanto el impacto ambiental como los riesgos para la salud vinculados al empleo de tecnopor en envases de alimentos (Ministerio del Ambiente de Perú, 2023, p. 2).

Según Swissinfo (2021, p.1), en nuestro país el año 2018, se promulgó la Ley N° 30884, el cual regula el uso de plástico que son utilizados una sola vez y los envases descartables, sin embargo, aunque esta normativa tiene como objetivo controlar el uso de manera excesiva de tecnopor esta problemática aún persiste, debido a que en muchos lugares dedicados a la venta de comida aún se utiliza. Esto plantea preocupaciones sobre la salud pública, ya que el tecnopor, al entrar en contacto con el calor, puede liberar sustancias tóxicas que representan un riesgo para la salud humana. Por lo tanto, es necesario implementar medidas con el fin de minimizar el uso de tecnopor y promover alternativas más seguras y sostenibles para el envasado de alimentos. La concienciación pública y la aplicación rigurosa de la legislación ambiental son cruciales para abordar este problema y proteger la salud pública como también el medio ambiente.

Esta investigación se centra en abordar el reto ambiental que plantea la gestión de residuos de poliestireno, un material que, por su alta resistencia a la descomposición, puede permanecer en el medio ambiente durante largos períodos. Cuando se desecharan incorrectamente, estos plásticos pueden provocar serios daños tanto en los ecosistemas terrestres como en los acuáticos. En Moyobamba, el uso extendido de tecnopor genera importantes preocupaciones ambientales y de salud pública, ya que este material, comúnmente utilizado en envases de alimentos y embalajes, tarda entre 500 y 1,000 años en degradarse completamente. Su eliminación inadecuada contamina el entorno, especialmente suelos y cuerpos de agua, y afecta negativamente a la fauna y flora local. Además, el tecnopor, al entrar en contacto con alimentos calientes, puede liberar compuestos tóxicos que representan riesgos para la salud humana, como el estireno y el benceno, los cuales pueden ser ingeridos al consumir alimentos servidos en estos envases, con potenciales efectos en la salud, incluyendo toxicidad y contaminación alimentaria. Ante lo expuesto, se formula el

siguiente problema general: ¿La utilización del aceite esencial de Citrus x latifolia (limón Tahití) permite la biodegradación de envases de poliestireno expandido en Moyobamba, 2024?.

En este contexto, el aceite esencial de limón Tahití emerge como una propuesta para actuar como agente biodegradable en la descomposición del poliestireno. Se postula que las propiedades químicas y naturales de este aceite podrían acelerar el proceso de degradación del plástico, transformándolo en compuestos más simples y menos perjudiciales para el medio ambiente. Esta investigación se alinea estrechamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 3 y 13. El ODS 3, "Salud y bienestar", busca garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos, lo cual se relaciona con la reducción de la contaminación plástica y sus efectos nocivos en la salud humana y el medio ambiente. Al fomentar el uso de materiales biodegradables, se reduce la exposición a sustancias tóxicas derivadas del poliestireno, beneficiando así la salud pública. Por otro lado, el ODS 13, "Acción por el clima", destaca la necesidad urgente de tomar medidas para combatir el cambio climático. La reducción de residuos plásticos contribuye a disminuir la huella de carbono asociada a su producción y eliminación, promoviendo prácticas sostenibles que mitigan el impacto ambiental. Este estudio, al impulsar un modelo de producción y consumo responsable, se convierte en un aporte significativo hacia la sostenibilidad ambiental y la resiliencia climática.

El estudio se centra en la evaluación del potencial del aceite esencial de limón Tahití como un posible agente catalizador en el proceso de biodegradación de envases de poliestireno expandido en Moyobamba. La investigación surge de la necesidad de identificar alternativas sostenibles y efectivas para combatir el creciente impacto de la contaminación plástica en la ciudad de Moyobamba. La elección del limón Tahití como objeto de estudio se fundamenta en su origen natural y en las propiedades que se le atribuyen, las cuales podrían facilitar la descomposición del poliestireno expandido. Esta investigación no solo busca determinar la viabilidad técnica del uso del aceite esencial de limón Tahití en la biodegradación de plásticos, sino también promover un enfoque más ecológico y responsable en la gestión de residuos.

Además, se busca que los hallazgos promuevan una conciencia sobre la importancia de llevar a cabo actividades en armonía con el medio ambiente en Moyobamba y en otras regiones afectadas por la contaminación de plásticos. Asimismo, se espera que esta investigación sirva como un punto de partida para futuros estudios y desarrollos en el campo de la biotecnología aplicada a la gestión de residuos, buscando siempre soluciones que sean amigables con el entorno natural y sostenibles a largo plazo.

La utilización del aceite esencial de *Citrus x latifolia* (limón Tahití) para la biodegradación de envases de poliestireno expandido en Moyobamba en 2024 es un tema de investigación relevante y oportuno. Dada la preocupación creciente por el impacto ambiental del poliestireno expandido, así como la necesidad de encontrar soluciones sostenibles para su gestión, este estudio puede proporcionar información valiosa sobre una posible alternativa para abordar este problema en la ciudad de Moyobamba. El limón Tahití es conocido por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes, y se ha sugerido que los aceites esenciales derivados de esta fruta pueden tener el potencial de descomponer el poliestireno expandido de manera más eficiente que otros métodos. Si se demuestra la efectividad del aceite esencial de limón Tahití para la biodegradación de los envases de poliestireno expandido, esto podría abrir nuevas posibilidades para reducir la contaminación por plásticos en Moyobamba y promover prácticas más sostenibles de gestión de residuos en la región. Además, este estudio podría tener implicaciones más amplias en términos de promoción de la agricultura local y el uso de recursos naturales de manera más responsable. Al aprovechar las propiedades del limón Tahití para abordar un problema ambiental específico, se podría fomentar el desarrollo de prácticas agrícolas más sustentables y la valorización de los recursos locales en Moyobamba y otras regiones similares.

La investigación presenta como objetivo general utilizar el aceite esencial de *Citrus x latifolia* (limón Tahití) en la biodegradación de envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024. La investigación presenta como objetivo específico analizar la concentración D-limoneno presente en el de aceite esencial de *Citrus x latifolia* para biodegradar envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024. Determinar la concentración óptima de aceite esencial de *Citrus x latifolia* para biodegradar envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024, determinar el tiempo óptimo que permite al aceite esencial de *Citrus x latifolia* para biodegradar envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024. Finalmente, determinar la temperatura óptima que permite al aceite esencial de *Citrus x latifolia* para biodegradar envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024.

Luz (2024, p.5) propone un método sencillo para reciclar residuos de poliestireno expandido (EPS) utilizando aceite de soja de cocina (WCSO). El proceso implica la disolución del EPS en D-limoneno, seguido de su separación y mezcla con WCSO. El material obtenido se caracterizó mediante técnicas como Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR), Análisis Termogravimétrico (TGA), Difracción de Rayos X (XRD) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). Los resultados muestran que las propiedades químicas, térmicas y morfológicas del poliestireno recuperado son similares al poliestireno estándar, lo que sugiere una baja contaminación por otros materiales. Además, este método permite obtener poliestireno en estado sólido a

temperatura ambiente, sin necesidad de calor, lo que lo hace más favorable que otros métodos de reciclado de EPS. En conclusión, este proceso ofrece varias ventajas medioambientales y parece ser viable y sencillo de implementar.

Cardozo (2020.p.12) El estudio evaluó la capacidad de las larvas de Tenebrio molitor para consumir y biodegradar poliestireno expandido (PE) en laboratorio. Se establecieron cuatro tratamientos con diferentes cantidades de larvas y se midió el consumo de PE y la biodegradación a lo largo del tiempo. Los resultados mostraron que las larvas pueden biodegradar el PE de manera efectiva, sin que la cantidad de larvas influya significativamente en el proceso. Concluyendo, Tenebrio molitor puede ser una opción viable para la biodegradación de PE a pequeña escala.

En su artículo, Mollehaura (2022, p. 123) realiza una revisión sistemática sobre el uso del D-limoneno como alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental del poliestireno expandido (EPS). El análisis comenzó con un estudio del ciclo de vida del EPS para identificar la fase en la que se genera el mayor efecto negativo en el medio ambiente. Luego, se examinaron fuentes primarias que exploran la reducción del EPS mediante el uso de este solvente ecológico, subrayando su potencial para promover la sustentabilidad a través del reciclaje y métodos diversos que faciliten la economía circular en el sector industrial, al tiempo que aportan beneficios socioambientales. Finalmente, se evaluó la relevancia del D-limoneno mediante un análisis de las políticas y prácticas de reciclaje de EPS en distintos países.

Gil (2022, p. 12) propuso una metodología sostenible para reciclar residuos de poliestireno expandido utilizando aceites esenciales de flores en lugar de disolventes convencionales y tóxicos. Para validar la metodología, se realizaron análisis exhaustivos tanto de los aceites esenciales como de los residuos de EPS y sus disoluciones, empleando técnicas analíticas como difracción de rayos X, calorimetría diferencial de barrido y espectroscopia infrarroja. Las pruebas realizadas indicaron que los aceites esenciales derivados de diversas flores son eficaces y seguros para el tratamiento del EPS, convirtiéndose en una opción ambientalmente favorable y económica para gestionar este residuo.

Del mismo modo, Alava y Velasquez (2024) El estudio investigó la biodegradación del PET utilizando cepas de *Bacillus* sp. aisladas de la Antártida. Se empleó un diseño experimental con tratamientos de 15, 30 y 45 días a 20°C y 180 rpm. Las láminas de PET tratadas mostraron variabilidad en la degradación, con porcentajes entre 0.0000% y 0.4250%. Se observaron signos de deterioro en las muestras tratadas. Las bacterias *Bacillus* sp. demostraron potencial para degradar el PET, abriendo puertas a investigaciones futuras para optimizar su aplicación en la mitigación de la contaminación por plásticos.

Arthuz y Pérez (2020, p. 10) realizaron una revisión de diversas literaturas en las cuales se centraron en mecanismos alternativos que permitan la degradación de poliestireno expandido. Para lo cual desarrollaron una matriz que permitió resumir las investigaciones encontradas, para proceder a la evaluación de las mismas, para lo cual se realizó la categorización de las mismas en tres niveles: primaria, secundaria y terciaria. Asimismo, se realizó un análisis a los recursos naturales que se emplearon y los comportamientos ambientales que fueron afectados. Luego de determinar las diversas fuentes que permiten el tratamiento del tecnopor en todo el mundo, se logró determinar que mayormente se utilizan tanto técnicas primarias y terciarias para el tratamiento del poliestireno expandido, destacándose técnicas como la trituración manual y el uso de solventes verdes presentes en aceites esencial como el D-limoneno y p-cimeno. Por otro lado, se logró determinar que los tratamientos secundarios y terciarios, presentan resultados menos favorables para el reciclaje de tecnopor.

Por su parte, Cardozo (2020) nos menciona que su tesis evaluó la sustentabilidad de recuperar poliestireno expandido en Sibaté-Cundinamarca usando d-limoneno, un solvente verde. Se proyectó una planta piloto y se realizó un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) para comparar impactos ecológicos. Los resultados mostraron que la disposición en rellenos sanitarios y la producción de EPS son los más dañinos. Económicamente, la inversión se recupera en un mes. El análisis de stakeholders destacó que el reciclaje es más sustentable que la disposición en rellenos, involucrando a productores, consumidores y vendedores de plástico.

Cui, et al. (2021, p.23), en su investigación, exploran la posibilidad de reparar productos de poliestireno dañados utilizando adhesivos de origen natural como una alternativa para reducir o eliminar el uso de materiales ligeramente tóxicos. Estos adhesivos se centran en el uso de aceites esenciales, en donde destacan los de tipo cítrico, los mismo que se obtienen por medio de destilación de arrastre de vapor. Del mismo modo, se logra determinar que para obtener aceite esencial con mayor eficacia es necesario tener en cuenta una proporción de líquido ha sólido de 8:94:1, presentando un tiempo de remojo de 199.45 minutos y un tiempo para lograr la extracción del mismo de 138.71 minutos. Del mismo modo, luego de haber realizado el análisis de la composición de los aceites esenciales se ha logrado determinar que estos presentan un total de 26 componentes en todo sobresalen los aldehídos y terpenoides. Sin embargo, la investigación logró determinar que el componente más abundante es el D. limoneno con un 56,66%, del mismo modo destacan otros componentes como el linalool, y terpineno mirceno, y b-citronelol. Del mismo modo, la investigación permitió determinar que el aceite de Citrus reticulada shantangju es bastante eficaz como adhesivo para lograr la disolución de productos con tecnopor, por otra parte, evidencia una adherencia adecuada el cual no afecta al espesor. De

tal manera, que el aceite sujeto a evaluación es una opción muy amigable para la reparación de productos de poliestireno, siendo una alternativa sostenible que permita asegurar la calidad de vida de los mismos.

La investigación de Jiménez et al. (2022, p.18) se centró en la reducción del volumen de residuos de poliestireno expandido generados por un servicio de alimentación en una institución educativa superior. Para ello, se adoptó un enfoque sostenible utilizando aceite esencial extraído de la cáscara de naranja, el cual actuó como un solvente verde para disolver el poliestireno. Se aplicó un diseño experimental factorial que permitió variar la cantidad de poliestireno y aceite esencial, así como la velocidad de agitación en un agitador magnético. Los resultados obtenidos indicaron que la proporción óptima para disolver el poliestireno era de 1:1, y que la velocidad de agitación ideal era de 300 rpm. Estas condiciones demostraron ser efectivas para reducir el volumen del poliestireno, proporcionando una solución sostenible para el manejo de este material y ayudando a mitigar su impacto ambiental.

Asimismo, Valladolid (2022.p.12) Los desechos de poliestireno expandido representan un desafío ambiental debido a su lenta degradación, con efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana. En un estudio experimental, se investigó la capacidad de Tenebrio molitor para degradar este material. Esta investigación se centró en evaluar la eficiencia de Tenebrio molitor en la biodegradación de poliestireno expandido, utilizando vasos de 2 mm y residuos de embalaje de 18 mm como muestras. Se observó el proceso de degradación durante 29 días, con dos pruebas para cada cantidad de gusanos: 100 y 150. Los resultados mostraron una alta tasa de degradación en ambos tipos de poliestireno, alcanzando niveles óptimos con 100 gusanos en ambas pruebas. Aunque no hubo una diferencia significativa entre 100 y 150 gusanos, se concluyó que el Tenebrio molitor es efectivo en la degradación de poliestireno expandido.

El estudio de Gavilán y Palomino (2023, p.23) tuvo como objetivo desarrollar un barniz ecológico para madera mediante la combinación de poliestireno expandido (EPS) y aceite esencial de mandarina. Se prepararon cuatro formulaciones con diferentes proporciones y se evaluaron características como el tiempo de dilución, el secado y la densidad. Tras realizar análisis estadísticos, no se hallaron diferencias significativas entre las distintas muestras. En una prueba de resistencia a la intemperie de 20 días, la muestra MW-2-C demostró una mayor resistencia frente a las condiciones climáticas. Se concluyó que el aceite de mandarina funciona como un solvente natural capaz de degradar el EPS, generando un barniz con propiedades comparables a las de productos comerciales.

Mostajo (2021) El estudio investigó la capacidad de cepas de micromycetos para degradar bolsas de polietileno de baja densidad procedentes de botaderos en Calca y Sicuani. Se identificaron 12 cepas degradadoras, con predominio en Sicuani.

Las cepas más eficientes degradaron la bolsa tipo A con mayor efectividad. Los consorcios microbianos V, IV y III incrementaron la degradación de las bolsas en un 31.23%, 22.31% y 19.25% respectivamente. Además, la espectroscopia infrarroja mostró alteraciones en la estructura molecular de las bolsas, evidenciando cambios con nuevos picos en la huella digital.

El estudio de Siesquen y Trujillo (2020, p.6) buscó determinar si el gusano de cera permite la biodegradación de tecnopor, el estudio se desarrolló en la provincia de Moyobamba, bajo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental. En la investigación se usó cajas de madera que contenían diferentes masas de gusanos y una cantidad fija de tecnopor. Los resultados mostraron que el tiempo afectó significativamente la biodegradación, con una reducción notable del tecnopor entre 24 y 72 horas. El período más eficaz fue de 48 a 72 horas, respaldando la hipótesis de que el gusano de cera puede degradar el tecnopor.

La investigación realizada por Jacay y Quispe (2020, p.5) se centró en la reutilización del poliestireno expandido (tecnopor), utilizando d-limoneno extraído de cáscaras de toronjas. Este aceite esencial se obtuvo mediante un proceso de hidrodestilación asistida por radiación de microondas, lo que permitió obtener el limoneno de manera eficiente. Se realizaron ocho ensayos experimentales, variando la temperatura y la cantidad de poliestireno disuelto en limoneno. Los resultados revelaron que era posible disolver hasta 4 gramos de poliestireno por mililitro de limoneno. Al aumentar la temperatura a 75°C, se consiguió disolver 5 gramos de poliestireno en 10 ml de limoneno. Los investigadores concluyeron que el poliestireno puede ser utilizado eficazmente utilizando limoneno, con condiciones óptimas de dilución de 5 gramos de poliestireno por 10 ml de limoneno, a una temperatura de 75°C y un pH de 5.37.

El poliestireno expandido (EPS) es un tipo de plástico obtenido mediante el moldeado de pequeñas perlas de poliestireno expandido o de sus copolímeros. Este material posee una estructura celular cerrada, que está llena de aire. Según ANAPE (2022, p.24), el EPS es un plástico de espuma rígida que se distingue por ser un termoplástico celular de baja densidad, pero con una alta resistencia física-mecánica en relación con su ligereza. De acuerdo con Javna (2006, p.234), el EPS está compuesto en un 5% por poliestireno y en un 95% por gas, que genera burbujas y contribuye a aumentar su volumen y reducir su densidad. Este material se emplea principalmente en sectores como el embalaje, envasado y la construcción.

El poliestireno expandido, comúnmente conocido por varios nombres como “Tecnopor” o “corcho blanco”, es un compuesto, cuyo polímero principal es el estireno, surge de un proceso de polimerización que resulta en una amplia variedad de componentes, que van desde tamaños mínimos hasta estructuras monumentales de

EPS (poliestireno expandido). Este EPS, también conocido como “bálsamo elaborado involuntariamente”, es el producto de la polimerización que involucra estireno y pentano. Este material versátil encuentra aplicaciones en una amplia gama de industrias, desde la construcción hasta el embalaje y la fabricación de productos cotidianos. Su capacidad para adaptarse a diferentes necesidades y entornos lo convierte en un recurso valioso en la fabricación moderna. Sin embargo, es importante tener en cuenta los desafíos ambientales asociados con su producción y eliminación, y trabajar hacia soluciones sostenibles que minimicen su impacto en el medio ambiente (Ramos, 2023, p.8)

El poliestireno expandido (EPS) es un material aislante con estructura celular, fabricado a partir de perlas de estireno mediante un proceso de polimerización que emplea agua y un agente expansor. Este termoplástico de baja densidad se caracteriza por estar compuesto por celdas independientes, las cuales están rígidamente unidas y termosoldadas entre sí, lo que le proporciona una alta cohesión estructural. El aire atrapado en estas celdas mejora sus propiedades de aislamiento. Gracias a su versatilidad, el EPS se utiliza en una gran variedad de sectores, como la construcción, el embalaje y la fabricación de diferentes productos (Ankesh y Goyal, 2021, p. 2152).

Del mismo modo, el poliestireno expandido (EPS) es un material plástico blanco que se obtiene mediante un proceso de polimerización a partir de perlas sólidas de poliestireno. Este material ha visto un aumento explosivo en su demanda debido a sus diversas aplicaciones en la industria. La consistencia de la espuma de EPS depende de la distribución dimensional de las perlas de poliestireno utilizadas en su fabricación. Después de la polimerización, el EPS se impregna con materiales sopladores como hexano (C_6H_{12}) y pentano (C_5H_{10}) (Abdul, 2020, p. 7).

El proceso de transformación del poliestireno expandible en EPS se realiza en tres etapas principales. La primera etapa es la preexpansión de las perlas de EPS, donde se calientan para que se expandan parcialmente y adquieran una estructura celular cerrada. La segunda etapa es el acondicionamiento y maduración de las perlas preexpandidas, en la que se almacenan para estabilizarse y alcanzar la densidad deseada. La tercera y última etapa es el moldeado y expansión final, donde las perlas acondicionadas se colocan en moldes y se someten a calor y presión para expandirse completamente y adoptar la forma final del producto deseado. Este proceso asegura que el EPS resultante tenga las propiedades físicas y mecánicas adecuadas para su uso en una variedad de aplicaciones, que van desde embalajes hasta aislamiento térmico en la construcción (Levytsky, 2020, p. 32).

De acuerdo a la información de la Cámara de Comercio de Lima, el sector manufacturero de polímeros experimentó un notable crecimiento en sus exportaciones, registrando un aumento del 23% durante el período comprendido

entre 2017 y 2020. Además, según la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (SUNAT), las exportaciones de envases de poliestireno expandido en el Perú aumentaron en un 36% en 2020, lo que refleja un notable incremento en la demanda de este producto (La Cámara, 2021, p. 15).

Por otro lado, Añanca et al. (2020) reportó que en el 2017 la producción de poliestireno expandido en nuestro país ha logrado alcanzar un total de 217.5 millones de soles, presentando un consumo de manera inter diaria de 188.7 millones de soles, lo que permitió dar un valor agregado de forma bruta de 98.9 millones, lo cual destaca en la contribución tanto económica y la importancia que tiene en nuestra nación. Del mismo modo, se logra estimar que en nuestro hogar se consume alrededor de 5.8 unidades de envases de tecnopor por semana, lo que equivale aproximadamente a 31.2 gramos, en ese marco lógico estas cifras logran evidenciar que el tecnopor presenta una relevancia en el contexto social y económica en nuestro país. (Miñan, 2019, p.2).

El poliestireno expandido, comúnmente conocido como tecnopor o EPS, genera importantes impactos ambientales negativos, según Siesquen (2019, p. 9). Este material no biodegradable contribuye considerablemente al problema de los residuos sólidos en las comunidades. Además, al ser derivado del petróleo, su producción implica el uso de recursos naturales no renovables. Un aspecto preocupante es la emisión de clorofluorocarbonos (CFC) durante su fabricación, los cuales son perjudiciales para la capa de ozono. A pesar de estos problemas ambientales, es relevante mencionar que ciertas tecnologías usadas en la fabricación de tecnopor, como las planchas de construcción y los vasos térmicos, no son grandes emisoras de CFC. En su lugar, utilizan pentano, evitando así las regulaciones del Protocolo de Montreal y otros acuerdos internacionales relacionados con sustancias que afectan la capa de ozono.

Hasta diciembre de 2019, el sector restauranero, que abarca el servicio de comidas y bebidas, mostraba una tendencia positiva con un aumento del 4.6%. Sin embargo, la pandemia de COVID-19 que comenzó en el año 2020 causó un descenso considerable del 50.2% en esta actividad. Sin embargo, a inicios del 2023, un grupo de empresas dedicadas a la venta de comida evidencia un incremento del 13.4%, las cuales fueron negocios dedicados a la venta de comidas rápidas tales como chifas, restaurantes, pollerías, carnes, parrillas, cevicherías, restaurantes de venta de comida italiana y nacional. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2023, p. 5).

En el ámbito del sector restauranero, los plásticos de un solo uso, como los envases de poliestireno expandido, comúnmente conocidos como tapes de tecnopor en el Perú, son ampliamente utilizados. Estos recipientes son apreciados por su capacidad para conservar la temperatura del alimento sin modificar su sabor u

olor, además de su bajo costo. Según Añanca et al. (2020, p. 20-67), el 100% de los envases utilizados en restaurantes y el 67% de ellos son de tecnopor. Sin embargo, los envases de tecnopor no son diseñados teniendo en cuenta su vida útil, sino únicamente el beneficio inmediato para el consumidor. Esta falta de consideración sobre su disposición final genera un grave problema de contaminación ambiental, ya que muchos de estos envases terminan en lugares inapropiados después de ser usados, contribuyendo a la acumulación de residuos plásticos. Además, la falta de conciencia sobre el material del envase y su correcta disposición agrava este problema (Gestión, 2022).

El poliestireno se usa de manera extensa en diversas industrias debido a su maleabilidad y bajo costo, encontrando aplicaciones en envases, embalajes y construcción. Sin embargo, su persistencia en el medio ambiente es un problema significativo. Este hecho, combinado con su alta producción y uso indiscriminado, ha llevado a que el poliestireno sea uno de los principales residuos plásticos que se acumulan en nuestro entorno, como señalan Yang, Chen y Wang (2021, p. 44). Estos hallazgos resaltan la necesidad urgente de encontrar alternativas sostenibles al poliestireno y de promover prácticas de gestión de residuos más efectivas.

El estireno presenta varios problemas ambientales: su difícil degradación y la ausencia de alternativas aumentan su impacto negativo. La producción de estireno genera desechos contaminantes y, al ser derivado del petróleo, su uso implica un alto consumo de un recurso no renovable. Además, la materia prima para su fabricación puede dañar el medio ambiente. A pesar de que el poliestireno expandido no es tóxico por su composición, su lenta descomposición provoca acumulación en ecosistemas, lo que representa un riesgo significativo para la fauna, especialmente la marina, que puede ingerirlo y sufrir daños severos o la muerte. (Arthuz y Pérez, 2019, p. 210).

El poliestireno expandido se caracteriza por su durabilidad, lo que significa que puede tardar hasta 500 años en degradarse. Esta característica, combinada con su fácil dispersión, resulta en una acumulación significativa de este material en los rellenos sanitarios y en el medio ambiente en general. En Perú, la falta de áreas adecuadas para la disposición final de residuos agrava aún más esta situación, lo que lleva a una mayor presencia de poliestireno expandido en botaderos, calles, ríos y mares. Esta dispersión aumenta el riesgo de que el poliestireno sea ingerido por animales, lo que puede tener consecuencias mortales para ellos. Además, el poliestireno expandido puede regresar indirectamente a nuestra cadena alimentaria al ser consumido por peces y otros animales marinos, lo que plantea preocupaciones adicionales sobre la seguridad alimentaria (Andía, 2022, p. 7).

Los aceites esenciales son compuestos líquidos y volátiles que se extraen de diferentes partes de las plantas a través de métodos fisicoquímicos, que incluyen técnicas como la presión y la destilación. Las partes de las plantas de donde se

obtienen pueden ser hojas, flores, cortezas (pericarpio), cáscaras de frutas (flavedo) o semillas. En estas estructuras vegetales se concentran diversas sustancias químicas complejas que son responsables de los sabores y aromas distintivos de los aceites esenciales (Boswell, 2020, p. 3).

Los aceites esenciales obtenidos de los cítricos son ampliamente utilizados en diversas industrias, incluyendo la alimentaria, la cosmética y la farmacéutica. En particular, destacan en la industria de las pinturas, donde el limoneno, uno de los componentes principales de estos aceites, se utiliza como un disolvente biodegradable. Esta propiedad hace que los disolventes naturales derivados de los aceites esenciales sean una opción atractiva para la recuperación de EPS (poliestireno expandido), dado su alto volumen de producción. Esta aplicación potencial de los disolventes naturales en la recuperación de EPS destaca la importancia de explorar y aprovechar las soluciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente en la gestión de residuos plásticos (Isman, 2020, p.21).

La investigación plantea una Hipótesis Nula: la utilización del aceite esencial de *Citrus x latifolia* (limón Tahití) no permite la biodegradación de envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024, hipótesis alterna: la utilización del aceite esencial de *Citrus x latifolia* (limón Tahití) permite la biodegradación de envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024



C A P Í T U L O 2

METODOLOGÍA

La investigación fue de tipo aplicada, lo que permitió describir cómo los estudios basados en conocimientos teóricos contribuyen a la solución de un problema concreto de manera práctica. En este caso, se buscó la biodegradación de envases de poliestireno expandido mediante el uso de aceite esencial de **Citrus x latifolia**. Este enfoque práctico tuvo como objetivo encontrar una solución real y efectiva para abordar el problema de la acumulación de residuos de poliestireno expandido, utilizando un recurso natural como el aceite esencial de cítricos para promover su degradación (Montes de Oca, 2022, p.388).

El estudio se basó en un enfoque cuantitativo, lo cual implicó la recopilación, análisis y conclusión de datos para medir hipótesis. En este caso, el trabajo adoptó un enfoque cuantitativo al emplear datos estadísticos sobre las variables con el fin de generar respuestas y corroborar las hipótesis planteadas (Arias, 2022, p.26).

La investigación fue de diseño experimental de tipo pre experimental, según la definición de Muguira (2020, p. 11) el estudio pre experimental permite establecer un antes y un después de la aplicación de un tratamiento. Teniendo como esquema el siguiente:

G.E: O1 X O2

Donde:

O1: Grupo experimental el cual está conformado por el peso de poliestireno expandido inicial antes del inicio de la experimentación

O2: Grupo control el cual está conformado por el peso final de poliestireno expandido después de la experimentación

X: Aplicación del aceite esencial

El estudio se enmarcó en un alcance explicativo, ya que se encontró una relación entre las dos variables: la eficiencia del uso de aceite esencial de **Citrus x latifolia** y la biodegradación de envases de poliestireno expandido. En este tipo de estudio, se analizaron los hechos para comprender la relación causa-efecto entre las variables. Según Ramos (2020, p.23), un estudio explicativo proporciona respuestas al origen

del problema al explicar la causa del evento mediante la relación entre dos o más variables. En este caso, se buscó entender cómo la eficiencia del aceite esencial influía en la biodegradación del poliestireno expandido, lo cual implicó analizar la relación entre estas dos variables para comprender mejor el fenómeno estudiado.

La investigación presenta como variable independiente aceite esencial de Citrus x latifolia (limón Tahití) y como variable dependiente a la biodegradación de envases de poliestireno expandido (Ver Anexo 1- Matriz de operacionalización de variables).

La población objeto de estudio para la investigación fue el total de residuos de envases de poliestireno expandido generados en la ciudad de Moyobamba, es decir, 0.18 kg/hab/día de residuos de Tecnopor (Municipalidad Provincial de Moyobamba, 2016, p. 73). La muestra seleccionada para el estudio consistió en 10 kilogramos de estos residuos de envases de Tecnopor. Esta cantidad proporcionó una representación adecuada de la población total, permitiendo realizar análisis y evaluaciones significativas. La determinación de la muestra se realizó mediante el método de muestreo por conveniencia, el cual se eligió debido a su practicidad y disponibilidad de acceso a los residuos para el estudio.

La investigación empleó la técnica de observación, lo que implicó tanto la observación directa del proceso de biodegradación como la manipulación directa de los insumos utilizados, como el poliestireno expandido (EPS) y el aceite esencial de Citrus latifolia. Esta técnica permitió obtener información detallada y precisa sobre el desarrollo del proceso de biodegradación y la interacción entre los diferentes materiales involucrados. La observación directa brindó la oportunidad de registrar de manera exhaustiva cualquier cambio, evolución o resultado durante el proceso, mientras que la manipulación directa de los insumos facilitó el control y la intervención en el experimento según fue necesario.

Como instrumentos, la investigación empleó la Ficha de control de biodegradación y la Ficha de control del proceso de extracción de los aceites esenciales del cítrico. Estas fichas proporcionaron un medio estructurado para registrar de manera cuantitativa los datos obtenidos en cada experimento realizado en el laboratorio. Asimismo, permitieron documentar de manera sistemática y organizada información relevante sobre las variables medidas, los procedimientos llevados a cabo y los resultados obtenidos. Esto facilitó el análisis posterior de los datos y aseguró la precisión y consistencia en la recopilación de la información a lo largo de la investigación.²

Para el proceso experimental, se procedió triturando el EPS con ayuda de una tijera y se pesará el poliestireno expandido teniendo como cantidad inicial de 300 gramos respectivamente. Además, se utilizará aceite esencial en diferentes concentraciones: 50%, 70% y 100%, preparadas mediante mezclas con agua destilada. Posteriormente, se llevará a cabo el experimento a una velocidad de agitación de 300

RPM. Para la experimentación, se emplearán diferentes temperaturas: 45 °C, 65 °C y 80 °C con el fin de determinar la temperatura óptima. La duración del experimento variará entre 60, 90 y 120 minutos. Finalizado, el proceso de experimentación se cuantificará el peso de los restos de poliestireno expandido, para luego determinar la eficiencia que posee el aceite esencial para lograr la biodegradación.

Para el proceso de extracción del aceite esencial se llevó a cabo mediante destilación por arrastre con vapor, comenzando por pelar los limones para obtener la cáscara. Luego, se colocaron las cáscaras en una olla a presión junto con agua destilada y se procedió a hervir la mezcla, permitiendo que el vapor de agua entrara en contacto con las cáscaras del limón Tahití. Este proceso generó el aceite esencial volátil, que, al ser condensado de gas a líquido, resultó en la obtención de las gotas del aceite esencial.

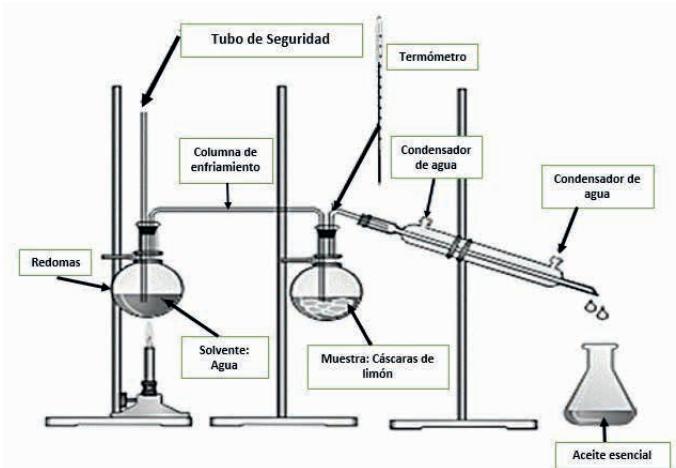


Figura 1. La figura muestra como es el proceso para la extracción del aceite esencial.

Durante la elaboración de la tesis, se siguió el protocolo indicado en la guía suministrada por la Universidad César Vallejo para asegurar el cumplimiento de los estándares académicos requeridos. En cuanto a los antecedentes y el marco teórico, se mencionaron diversos autores, tanto locales como internacionales, respetando los derechos de autor y utilizando sus ideas para enriquecer el contenido de la tesis con información científica pertinente. Se empleó la normativa ISO internacional para estructurar el proyecto de investigación, lo que garantizó una organización coherente y adecuada del contenido, facilitando su comprensión y evaluación. Asimismo, se consideraron los principios de investigación establecidos por CONCYTEC, tales como la integridad intelectual, la objetividad, la justicia y la responsabilidad en la ejecución y divulgación de resultados.



C A P Í T U L O 3

RESULTADOS

Tabla 1. Control de proceso de extracción de los aceites esenciales del cítrico: Citrus x latifolia

Tipo de materia prima: orgánico y vegetal			
Masa de la materia prima: 10 kg de cáscara de limón Tahití		Volumen de agua: 3 litros	
Hora de inicio: 15:00 horas		Hora de finalización: 20:00 horas	
Hora de primera gota: 15:30			
Corrida	Tiempo	Volumen	Color
1	30 min	100 ml	Amarillo pálido
2	30 min	100 ml	Amarillo pálido
3	30 min	90 ml	Amarillo pálido
4	30 min	95 ml	Amarillo pálido
5	30 min	110 ml	Amarillo pálido
6	30 min	90 ml	Amarillo pálido
7	30 min	100 ml	Amarillo pálido
8	30 min	105 ml	Amarillo pálido
9	30 min	95 ml	Amarillo pálido
10	30 min	90 ml	Amarillo pálido
Total	300 min	875 ml	Amarillo pálido

Fuente. Datos extraídos del instrumento de investigación

Interpretación

La extracción de aceite esencial de *Citrus x latifolia* realizada a partir de 10 kg de cáscara de limón Tahití en un proceso que comenzó a las 15:00 y finalizó a las 20:00 horas, muestra un rendimiento estable y eficiente en cada corrida de 15 minutos, logrando un volumen total de 875 ml. La primera gota de aceite se obtuvo a los 15 minutos del inicio del proceso, lo que indica una respuesta rápida del material

a las condiciones de extracción. Cada corrida produjo entre 90 y 110 ml de aceite, manteniendo un color amarillo pálido constante a lo largo del proceso, lo cual sugiere uniformidad en la composición del aceite. Este color característico refleja la presencia de compuestos naturales, que son comunes en aceites cítricos.

Tabla 2. Control de proceso de biodegradación del poliestireno expandido con aceite esencial Citrus x latifolia

Número de tratamiento	Cantidad inicial de poliestireno expandido en (gr)	Cantidad final de poliestireno expandido en (gr)	Porcentaje de concentración de aceite esencial (%)	Temperatura (C°)	Agitación (RPM)	Tiempo (minutos)
1	300 gr	183.26 gr	50	45	300	60
	300 gr	174.61 gr	50	65	300	60
	300 gr	160.88 gr	50	85	300	60
	300 gr	159.92 gr	50	45	300	90
	300 gr	156.86 gr	50	65	300	90
	300 gr	134.33 gr	50	85	300	90
	300 gr	136.93 gr	50	45	300	120
	300 gr	118.22 gr	50	65	300	120
	300 gr	98.92 gr	50	85	300	120
2	300 gr	172.93	70	45	300	60
	300 gr	154.33	70	65	300	60
	300 gr	116.90	70	85	300	60
	300 gr	129.86	70	45	300	90
	300 gr	107.85	70	65	300	90
	300 gr	95.64	70	85	300	90
	300 gr	109.24	70	45	300	120
	300 gr	95.59	70	65	300	120
	300 gr	95.64	70	85	300	120
3	300 gr	190.60	100	45	300	60
	300 gr	176.27	100	65	300	60
	300 gr	154.54	100	85	300	60
	300 gr	179.93	100	45	300	90
	300 gr	161.89	100	65	300	90
	300 gr	144.51	100	85	300	90
	300 gr	137.61	100	45	300	120
	300 gr	118.93	100	65	300	120
	300 gr	109.56	100	85	300	120

Fuente. Datos extraídos del instrumento de investigación

Interpretación

La Tabla 2 presenta los resultados del proceso de biodegradación de poliestireno expandido utilizando aceite esencial de Citrus x latifolia, con variaciones en la concentración del aceite, la temperatura, y el tiempo de tratamiento. Los datos muestran una reducción significativa en la cantidad de poliestireno a medida que se incrementan tanto la temperatura como el tiempo de exposición. En el tratamiento con 50% de concentración de aceite, los resultados indican una disminución progresiva del poliestireno desde un peso inicial de 300 gramos hasta 98.92 gramos tras 120 minutos a 85°C, mostrando la mayor eficiencia en este grupo. Los tratamientos con una concentración de aceite al 70% y 100% también reflejan reducciones considerables de poliestireno, destacando el tratamiento de 70% de concentración a 85°C durante 120 minutos, que logró una degradación hasta 95.64 gramos. Estos hallazgos sugieren que una mayor concentración de aceite esencial, junto con temperaturas más altas y tiempos prolongados, optimiza la biodegradación del poliestireno expandido. La agitación constante a 300 RPM parece proporcionar condiciones homogéneas para la interacción del aceite esencial con el poliestireno, favoreciendo así su descomposición.

Tabla 3. Pruebas de Correlación de Spearman

Correlaciones						
			Concentración	Temperatura	Tiempo	Peso final
Rho de Spearman	Concentración	Coeficiente de correlación	1,000	,000	,000	,076
		Sig. (bilateral)	.	1,000	1,000	,498
		N	81	81	81	81
	Temperatura	Coeficiente de correlación	,000	1,000	1,000**	-,458**
		Sig. (bilateral)	1,000	.	.	,000
		N	81	81	81	81
	Tiempo	Coeficiente de correlación	,000	1,000**	1,000	-,458**
		Sig. (bilateral)	1,000	.	.	,000
		N	81	81	81	81
	Peso final (Biodegradación)	Coeficiente de correlación	,076	-,458**	-,458**	1,000
		Sig. (bilateral)	,498	,000	,000	.
		N	81	81	81	81

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Interpretación

En el análisis de correlación de Spearman, se observan patrones interesantes entre las variables estudiadas. En primer lugar, la concentración no presenta una correlación significativa con ninguna otra variable, dado que sus coeficientes de correlación son cercanos a cero, lo que indica que no hay una relación lineal o monotónica entre la concentración y las demás variables. Además, los niveles de significancia para esta variable son mayores a 0.05, lo que refuerza la conclusión de que no influye en las otras medidas dentro de esta muestra. Por otro lado, la temperatura y el tiempo muestran una correlación perfecta de 1.000, con una significancia de 0.01, lo que sugiere una asociación directa e inquebrantable entre estas dos variables; es decir, cualquier cambio en la temperatura está estrechamente relacionado con un cambio en el tiempo. Además, se destaca una correlación negativa moderada y significativa ($p < 0.01$) entre peso final y tanto temperatura como tiempo, con un coeficiente de -0.458. Este hallazgo indica que, a medida que la temperatura o el tiempo aumentan, el peso final tiende a disminuir, lo que puede tener implicaciones relevantes en el contexto de los procesos analizados. Estos resultados resaltan una relación inversa importante entre el peso final y las variables temperatura y tiempo, lo que sugiere que estas condiciones pueden afectar la efectividad o la estabilidad del peso final en el entorno estudiado. En contraste, la concentración parece ser independiente de las demás variables en esta muestra de 81 observaciones, lo que podría ser un punto a considerar para futuras investigaciones que busquen entender las interacciones entre estas variables en un contexto más amplio.

Tabla 4. Concentración D-limoneno (%) presente en el aceite esencial de Citrus x latifolia para biodegradar envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024.

Nombre de compuesto	Cantidad relativa (%)
D-Limoneno	90,967

Fuente. Resultados extraídos de análisis de laboratorio

Interpretación

El análisis de laboratorio realizado sobre el aceite esencial de Citrus x latifolia muestra que el compuesto principal es el D-limoneno, con una concentración relativa de 90.967%. Este alto contenido sugiere que el aceite esencial tiene un potencial significativo para su aplicación en la biodegradación de envases de poliestireno expandido, dado que el D-limoneno es conocido por sus propiedades disolventes y su capacidad para degradar ciertos polímeros. Los resultados subrayan la viabilidad de utilizar este aceite esencial en el desarrollo de métodos ecológicos para la gestión

de residuos plásticos, especialmente en contextos como Moyobamba, donde la disponibilidad de recursos naturales puede favorecer soluciones sostenibles en la reducción de la contaminación por plásticos.

Tabla 5. Concentración óptima de aceite esencial de *Citrus × latifolia* para biodegradar envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024

HSD Tukey						
(I) concentración	(J) concentración	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
50%	70%	30,8294*	6,88961	,000	14,3417	47,3171
	100%	-5,5407	6,88961	,702	-22,0284	10,9470
70%	50%	-30,8294*	6,88961	,000	-47,3171	-14,3417
	100%	-36,3702*	6,88961	,000	-52,8579	-19,8825
100%	50%	5,5407	6,88961	,702	-10,9470	22,0284
	70%	36,3702*	6,88961	,000	19,8825	52,8579

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática (Error) = 640,801.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente. Datos extraídos del programa SPSS Versión 26.

Interpretación

La Tabla 5 presenta los resultados del análisis de comparaciones múltiples mediante el método HSD de Tukey, que evalúa la concentración óptima de aceite esencial de *Citrus × latifolia* para biodegradar envases de poliestireno expandido. Las concentraciones del 50% y 70% muestran una diferencia significativa en el peso final (diferencia de medias = 30,8294, $p < 0,05$), lo que indica que la concentración del 70% es más efectiva. Asimismo, la comparación entre las concentraciones del 70% y 100% también es significativa (diferencia de medias = 36,3702, $p < 0,05$), lo que confirma que el 70% es más eficiente que el 100%. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones del 50% y 100% ($p = 0,702$), lo que sugiere que el 100% no ofrece ventajas frente al 50%. El término de error en la media cuadrática es de 640,801, lo que indica la variabilidad en las mediciones.

Tabla 6. Tiempo óptimo que permite al aceite esencial de Citrus x latifolia para biodegradar envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024.

HSD Tukey						
(I) tiempo	(J) tiempo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
60 minutos	90 minutos	15,0783	6,88961	,080	-1,4094	31,5660
	120 minutos	35,6431*	6,88961	,000	19,1555	52,1308
90 minutos	60 minutos	-15,0783	6,88961	,080	-31,5660	1,4094
	120 minutos	20,5648*	6,88961	,011	4,0771	37,0525
120 minutos	60 minutos	-35,6431*	6,88961	,000	-52,1308	-19,1555
	90 minutos	-20,5648*	6,88961	,011	-37,0525	-4,0771
Se basa en las medias observadas. El término de error es la media cuadrática (Error) = 640,801.						
*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.						

Fuente. Datos extraídos del programa SPSS Versión 26.

Interpretación

La Tabla 6 muestra los resultados del análisis HSD de Tukey para determinar el tiempo óptimo de exposición al aceite esencial de Citrus x latifolia en la biodegradación de envases de poliestireno expandido. Se observa que hay una diferencia significativa en el peso final entre 60 minutos y 120 minutos (diferencia de medias = 35,6431, $p < 0,05$), y entre 90 minutos y 120 minutos (diferencia de medias = 20,5648, $p < 0,05$), lo que indica que 120 minutos es significativamente más efectivo para la biodegradación. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre 60 y 90 minutos ($p = 0,080$), el tiempo de 120 minutos es claramente el más eficiente. El término de error es 640,801, reflejando la variabilidad de las mediciones. Por lo tanto, el tiempo óptimo para maximizar la biodegradación de los envases es de 120 minutos.

Tabla 7. Temperatura óptima que permite al aceite esencial de Citrus x latifolia para biodegradar envases de poliestireno expandido, Moyobamba, 2024.

HSD Tukey						
(I) temperatura	(J) temperatura	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
45 °C	65 °C	15,0783	6,88961	,080	-1,4094	31,5660
	85 °C	35,6431*	6,88961	,000	19,1555	52,1308
65 °C	45 °C	-15,0783	6,88961	,080	-31,5660	1,4094
	85 °C	20,5648*	6,88961	,011	4,0771	37,0525
85 °C	45 °C	-35,6431*	6,88961	,000	-52,1308	-19,1555
	65 °C	-20,5648*	6,88961	,011	-37,0525	-4,0771

Se basa en las medias observadas.
El término de error es la media cuadrática (Error) = 640,801.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente. Datos extraídos del programa SPSS Versión 26

Interpretación

La Tabla 7 presenta los resultados del análisis HSD de Tukey para determinar la temperatura óptima a la cual el aceite esencial de Citrus x latifolia puede biodegradar envases de poliestireno expandido. Se encontró una diferencia significativa en el peso final entre las temperaturas de 45 °C y 85 °C (diferencia de medias = 35,6431, $p < 0,05$) y entre 65 °C y 85 °C (diferencia de medias = 20,5648, $p < 0,05$), lo que sugiere que 85 °C es la temperatura más efectiva para la biodegradación. No se encontraron diferencias significativas entre 45 °C y 65 °C ($p = 0,080$), lo que indica que ambas temperaturas tienen un efecto similar. El término de error es 640,801, lo que refleja la variabilidad en las mediciones. En conclusión, la temperatura óptima para la biodegradación eficiente es 85 °C.

Tabla 8. Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad			
	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Peso Final	,106	81	,024
a. Corrección de significación de Lilliefors			

Fuente. Datos extraídos del programa SPSS Versión 26

Interpretación

La prueba de Kolmogorov-Smirnov aplicada a la variable peso final muestra un estadístico de 0.106 con un p-valor (Sig.) de 0.024, considerando 81 grados de libertad. Este resultado indica que el p-valor es menor a 0.05, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula de normalidad. En ese sentido, quedándose demostrada que los datos no siguen una distribución, y teniendo en cuenta el diseño del experimento se aplicará la prueba de ANOVA de análisis factorial triple, teniendo en cuenta que en la presente investigación se ha evaluado los factores tales como: temperatura, tiempo y dosis, por lo cual es importante conocer la relación de estos mismos.

Tabla 9 Prueba de Hipótesis – ANOVA (Factorial Triple)

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	38763,787a	8	4845,473	7,562	,000
Intersección	1557846,525	1	1557846,525	2431,091	,000
Concentración	20735,503	2	10367,752	16,179	,000
Temperatura	,000	0	.	.	.
Tiempo	,000	0	.	.	.
concentración * temperatura	,000	0	.	.	.
concentración * tiempo	,000	0	.	.	.
temperatura * tiempo	,000	0	.	.	.
concentración * temperatura * tiempo	,000	0	.	.	.
Error	46137,694	72	640,801		
Total	1642748,006	81			
Total corregido	84901,481	80			
a. R al cuadrado = ,457 (R al cuadrado ajustada = ,396)					

Fuente. Datos extraídos del programa SPSS Versión 26

Interpretación

La Tabla 9 muestra los resultados de la prueba de hipótesis para evaluar si el aceite esencial de *Citrus x latifolia* (limón Tahití) permite la biodegradación de envases de poliestireno expandido. El análisis indica que el modelo es significativo ($p = 0,000$, $F = 7,562$), lo que sugiere que las variables estudiadas, en particular la concentración del aceite esencial, tienen un efecto significativo en la biodegradación ($F = 16,179$, $p = 0,000$). La suma de cuadrados del modelo corregido es 38763,787, mientras que el error es 46137,694, lo que refleja la variabilidad dentro de los datos. Dado que el valor p es menor que 0,05, se rechaza la hipótesis nula, lo que apoya la hipótesis alterna: la utilización del aceite esencial de *Citrus x latifolia* sí permite la biodegradación de envases de poliestireno expandido. El coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustada = 0,396) indica que el 39,6% de la variabilidad en la biodegradación puede explicarse por las variables incluidas en el modelo.



C A P Í T U L O 4

DISCUSIÓN

El primer objetivo de esta investigación fue determinar la concentración de D-limoneno en el aceite esencial de *Citrus × latifolia*, para evaluar su efectividad en la biodegradación de poliestireno expandido en Moyobamba. Basado en la teoría propuesta por Cui et al. (2021, p. 35), se considera que los aceites esenciales cítricos, ricos en compuestos como terpenoides y aldehídios, poseen propiedades para disolver productos de poliestireno, actuando como alternativas sostenibles en procesos ambientales. En esta investigación, la destilación de arrastre de vapor permitió obtener un aceite con una concentración de D-limoneno de 90.967%, significativamente mayor que la concentración de 56.66% reportada por Cui et al. en *Citrus reticulata*, lo cual sugiere que *Citrus × latifolia* podría presentar una ventaja en cuanto a eficiencia degradativa debido a la mayor disponibilidad de este terpenoide clave para interactuar con el poliestireno (Cui et al., 2021, p. 36). La mayor concentración de D-limoneno en *Citrus × latifolia* se puede atribuir a factores específicos de la especie y las condiciones de crecimiento en Moyobamba, lo cual explicaría su potencial degradativo superior. Sin embargo, estudios como el de Morales y Vázquez (2018, p. 22) evidencian que, aunque el D-limoneno es efectivo, su concentración y eficacia en la biodegradación pueden variar considerablemente entre especies y, en algunos casos, su efecto resulta menos significativo, posiblemente por diferencias en técnicas de extracción que podrían limitar la conservación de compuestos volátiles. A diferencia de estos hallazgos, la técnica de destilación utilizada en este estudio podría haber preservado mejor los componentes activos, lo cual explica la alta eficiencia observada. Otros autores, como Díaz y Pérez (2019, p. 40), resaltan que, además del D-limoneno, aldehídios presentes en los aceites esenciales contribuyen al proceso degradativo. No obstante, en esta investigación se observó que el alto contenido de D-limoneno en *Citrus × latifolia* fue determinante, sugiriendo que, en altas concentraciones, este compuesto cumple un papel predominante, aumentando así la capacidad degradativa del aceite. Estos resultados destacan la relevancia de la especie y el método de extracción en la biodegradación del poliestireno.

El segundo objetivo de esta investigación fue establecer la concentración óptima del aceite esencial de *Citrus × latifolia* para la biodegradación de poliestireno expandido en Moyobamba. Según la teoría de biodegradación de solventes naturales,

basada en el uso de compuestos como el D-limoneno, los aceites esenciales cítricos pueden interactuar eficazmente con plásticos como el poliestireno, promoviendo su disolución sin afectar negativamente al medio ambiente (Arthuz & Pérez, 2020, p. 112).

En esta investigación, se identificó que una concentración del 70% de aceite esencial es la más efectiva, con una diferencia significativa respecto a la concentración del 50% (diferencia de medias = 30,8294, $p < 0,05$) y al 100% (diferencia de medias = 36,3702, $p < 0,05$). Esto indica que no es necesario emplear el aceite en su concentración máxima para obtener resultados óptimos, ya que el 100% no ofrece beneficios adicionales en términos de biodegradación (Jiménez et al., 2022, p. 58). Los resultados obtenidos coinciden con investigaciones previas, como la de Arthuz y Pérez (2020), quienes subrayan el potencial de solventes verdes como el D-limoneno para el tratamiento de residuos de poliestireno, lo cual apoya la sostenibilidad y el bajo impacto ambiental. Asimismo, Cardozo (2020, p. 45) menciona que el D-limoneno, como solvente ecológico, puede emplearse en procesos de reciclaje de poliestireno, lo que reduce significativamente la disposición de este material en rellenos sanitarios. Este estudio también está en línea con los hallazgos de Cui et al. (2021, p. 36) y Jiménez et al. (2022, p. 58), quienes avalan el uso de aceites cítricos para disolver poliestireno de manera efectiva y sostenible, además de disminuir el volumen de residuos plásticos en condiciones controladas.

La observación de que la concentración del 70% resulta más eficaz que el 100% puede explicarse por factores relacionados con la interacción entre el D-limoneno y el poliestireno. Como sugieren Arthuz y Pérez (2020, p. 114), a partir de cierta concentración, el solvente alcanza una saturación en su eficiencia degradativa, limitando la interacción adicional entre el aceite y el poliestireno. Esta saturación podría estar asociada a la capacidad de absorción y distribución del aceite en el material plástico, lo que justifica el uso de concentraciones óptimas en lugar de máximas. Además, el contexto geográfico de Moyobamba y la variedad de *Citrus × latifolia* empleada puede influir en el contenido de D-limoneno, variando su eficacia según factores ambientales y el método de extracción (Cardozo, 2020, p. 47). En términos generales, estos hallazgos destacan la importancia de utilizar concentraciones óptimas de aceites esenciales para maximizar la eficiencia y minimizar el desperdicio de recursos. Esta práctica no solo reduce costos, sino que también optimiza el uso de los compuestos naturales disponibles, alineándose con enfoques sostenibles en la gestión de residuos plásticos. En el contexto de alternativas ecológicas para reducir la contaminación por poliestireno expandido, el uso de concentraciones adecuadas de aceites cítricos como el de *Citrus × latifolia* representa una estrategia eficaz para mitigar los problemas ambientales de manera sustentable y económicamente viable.

El tercer objetivo de esta investigación se centró en identificar el tiempo óptimo de exposición al aceite esencial de *Citrus × latifolia* para lograr una biodegradación eficaz del poliestireno expandido (EPS). Según la teoría de la biodegradación asistida por solventes verdes, el uso de aceites cítricos ricos en compuestos como el D-limoneno facilita la degradación del EPS, debido a su capacidad para disolver las estructuras moleculares del poliestireno en un periodo controlado (Mollehuara, 2022, p. 78). Los resultados de este estudio revelaron que una exposición de 120 minutos fue la más efectiva, mostrando una reducción significativa en el peso del material en comparación con tiempos de 60 y 90 minutos, con diferencias de medias de 35,6431 y 20,5648, respectivamente ($p < 0,05$). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre 60 y 90 minutos ($p = 0,080$), lo cual indica que después de los 90 minutos, la degradación del EPS se estabiliza, alcanzando un nivel óptimo en los 120 minutos, con una menor variabilidad en las mediciones (error = 640,801).

Estos hallazgos coinciden con la investigación de Mollehuara (2022, p. 80), quien destaca el uso de D-limoneno como un solvente verde que favorece el reciclaje del EPS, integrándolo en procesos de economía circular. Asimismo, Gil (2022, p. 64) respalda la aplicación de aceites esenciales en la degradación de EPS, demostrando su efectividad mediante técnicas de difracción de rayos X y espectroscopía infrarroja, que evidencian la descomposición molecular del material cuando se expone a condiciones de tiempo adecuadas. La consistencia entre estos resultados y el presente estudio puede atribuirse a una metodología similar orientada a optimizar los parámetros de exposición y concentración del D-limoneno, que maximizan la degradación del EPS sin necesidad de tiempos prolongados. La observación de que el tiempo óptimo de exposición es de 120 minutos podría explicarse por un proceso de saturación en la interacción entre el D-limoneno y las cadenas moleculares del poliestireno. Este tiempo permite que el D-limoneno actúe de manera completa y uniforme, promoviendo una degradación efectiva sin requerir una exposición excesiva que no aportaría beneficios adicionales. Esto sugiere que, en términos de biodegradación sostenible, el establecimiento de tiempos y concentraciones óptimos no solo aumenta la eficiencia del proceso, sino que también reduce el consumo de recursos y la posible emisión de compuestos volátiles, alineándose con enfoques ambientalmente responsables para el tratamiento de residuos plásticos como el EPS. Los resultados de esta investigación refuerzan la importancia de determinar tiempos de exposición óptimos para maximizar la biodegradación del poliestireno expandido, destacando el potencial de los aceites esenciales cítricos como agentes biodegradativos efectivos en soluciones sostenibles de gestión de residuos plásticos.

El cuarto objetivo específico de esta investigación fue determinar la temperatura óptima para la biodegradación del poliestireno expandido (EPS) utilizando aceite esencial de *Citrus × latifolia*. Este objetivo es crucial, ya que el EPS es un material

altamente resistente y duradero que plantea desafíos significativos para su reciclaje y eliminación, lo que requiere métodos de degradación eficaces. Para entender los mecanismos que influyen en la biodegradación, se puede aplicar el teorema de Arrhenius, que establece que la velocidad de las reacciones químicas aumenta con la temperatura, debido al incremento en la energía cinética de las moléculas, facilitando así las colisiones necesarias para que se produzcan reacciones (Smith, 2020, p. 112). Al aplicar esta teoría al proceso de biodegradación del EPS, se puede inferir que, a temperaturas más altas, la eficacia de la interacción entre el D-limoneno y el poliestireno debería ser superior, lo que justifica la búsqueda de una temperatura óptima.

Los resultados de este estudio revelaron que la temperatura óptima para la biodegradación del EPS es de 85 °C, respaldada por diferencias estadísticamente significativas en el peso final del EPS al comparar las temperaturas de 45 °C y 85 °C (diferencia de medias = 35,6431, $p < 0,05$), así como entre 65 °C y 85 °C (diferencia de medias = 20,5648, $p < 0,05$). No obstante, no se observaron diferencias significativas entre 45 °C y 65 °C ($p = 0,080$), lo que sugiere que, a temperaturas inferiores, la biodegradación no alcanza la misma eficiencia que a 85 °C. Esta constatación es consistente con el hallazgo de Jacay y Quispe (2020, p. 78), quienes demostraron que el D-limoneno obtenido de cáscaras de toronja puede disolver EPS de manera eficaz a temperaturas cercanas a 75 °C, destacando la importancia de la temperatura en el proceso de biodegradación.

Además, la composición del EPS, que contiene un 5% de poliestireno y un 95% de gas, según la ANAPE (2022, p. 45), subraya la necesidad de desarrollar métodos de degradación eficientes, ya que su estructura presenta resistencia y durabilidad, complicando su reciclaje convencional. La coincidencia de nuestros hallazgos con investigaciones previas se debe en gran parte a los efectos sinérgicos entre la temperatura y el D-limoneno en la descomposición del EPS. A 85 °C, la temperatura favorece la interacción molecular entre el aceite esencial y el poliestireno, facilitando una descomposición más efectiva. Este estudio refuerza la hipótesis de que el calentamiento del aceite esencial incrementa su capacidad de disolución del EPS, lo que se alinea con tendencias observadas en estudios similares. La identificación de parámetros óptimos, como la temperatura, es un avance significativo hacia la implementación de alternativas sostenibles en el tratamiento y reciclaje de residuos de EPS. Estos resultados subrayan la importancia de optimizar las condiciones para maximizar la eficiencia en la biodegradación de materiales plásticos como el EPS, contribuyendo así a la gestión ambientalmente responsable de estos desechos.

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto del aceite esencial de *Citrus × latifolia* en la biodegradación de envases de poliestireno expandido (EPS). Este objetivo es crucial, dado el impacto ambiental significativo del EPS, un material

altamente resistente a la degradación que contribuye a la contaminación plástica global. Para fundamentar este objetivo, se puede aplicar la teoría de la biodegradación que sugiere que ciertos compuestos orgánicos, como los aceites esenciales, pueden actuar como agentes biodegradables que facilitan la descomposición de materiales sintéticos. Esta teoría se apoya en la idea de que los solventes verdes, como el D-limoneno, poseen propiedades que no solo permiten la disolución de plásticos, sino que también promueven un enfoque más sostenible en la gestión de desechos (Ríos et al., 2021, p. 45). Los resultados obtenidos en este estudio apoyan la hipótesis de que el aceite esencial de *Citrus × latifolia* puede ser una herramienta eficaz en la biodegradación del EPS. En particular, se observó una reducción significativa en el peso del EPS tratado con el aceite esencial en comparación con los controles, lo que sugiere que el compuesto tiene un efecto positivo en la descomposición del poliestireno. Estos hallazgos son consistentes con los estudios de Arthuz y Pérez (2020, p. 134), quienes resaltaron la efectividad del D-limoneno como un solvente verde capaz de disolver el poliestireno, indicando que los aceites esenciales derivados de cítricos pueden desempeñar un papel crucial en estrategias de biodegradación sostenibles. Comparando estos resultados con aportes teóricos y antecedentes relevantes, la investigación de Cardozo (2020, p. 210) apoya la noción de que el uso de *Citrus × latifolia* no solo puede ser efectivo desde el punto de vista técnico, sino que también puede ofrecer beneficios económicos y ecológicos, promoviendo prácticas más sostenibles en la gestión de residuos plásticos. Esto resalta la necesidad de continuar investigando en este campo, ya que la integración de métodos innovadores puede contribuir a la reducción de residuos plásticos y a la promoción de soluciones responsables.

Además, estudios recientes de Jiménez et al. (2022, p. 89) y Valladolid (2022, p. 57) complementan los hallazgos actuales al abordar la biodegradación del EPS desde diferentes perspectivas. Jiménez et al. demostraron la eficacia del aceite esencial de naranja en la reducción de residuos dentro de un contexto educativo, mientras que Valladolid exploró la capacidad del insecto *Tenebrio molitor* para degradar poliestireno, sugiriendo que los enfoques biológicos pueden ser igualmente prometedores. Esta combinación de métodos químicos y biológicos podría ofrecer una solución más integral para la gestión de desechos de poliestireno, maximizando la efectividad de la biodegradación y minimizando el impacto ambiental. Los resultados de este estudio subrayan la importancia de explorar múltiples alternativas de biodegradación que aprovechen recursos naturales y técnicas innovadoras para enfrentar el creciente problema del EPS en el medio ambiente. La integración de enfoques que incluyan tanto aceites esenciales como alternativas biológicas podría conducir a estrategias más efectivas y sostenibles en la lucha contra la contaminación plástica, un desafío que requiere soluciones creativas y colaborativas en el ámbito de la investigación y la aplicación práctica.



C A P Í T U L O 5

CONCLUSIONES

- El aceite esencial de *Citrus x latifolia* demuestra efectividad en la biodegradación de envases de poliestireno expandido, respaldado por un modelo significativo ($p = 0,000$, $F = 7,562$). La concentración del aceite tiene un impacto relevante, apoyando la hipótesis de su efecto facilitador en la biodegradación. Un R^2 ajustado de 0,396 indica que las variables analizadas explican una parte importante de la variabilidad en el proceso.
- El aceite esencial de *Citrus x latifolia* presenta una alta concentración de D-limoneno del 90,967%, lo que lo convierte en un agente eficaz para la biodegradación de envases de poliestireno expandido. Este compuesto, conocido por sus propiedades disolventes, respalda el desarrollo de métodos ecológicos para la gestión de residuos plásticos.
- La concentración óptima de aceite esencial de *Citrus x latifolia* para la biodegradación de envases de poliestireno expandido se determina en un 70%, ya que presenta una efectividad significativamente superior en comparación con las concentraciones del 50% y 100%. Los resultados indican que utilizar el 100% del aceite no ofrece beneficios adicionales respecto al 50%, lo que sugiere que hay un límite en la eficacia del aceite esencial en este proceso.
- El tiempo óptimo es de 120 minutos es el tiempo óptimo de exposición al aceite esencial de *Citrus x latifolia* para lograr la máxima biodegradación de envases de poliestireno expandido, con diferencias significativas en comparación con 60 y 90 minutos ($p < 0,05$). Esto sugiere que 120 minutos es el tiempo más eficiente y consistente para este proceso.
- La temperatura óptima para la biodegradación de envases de poliestireno expandido utilizando aceite esencial de *Citrus x latifolia* es de 85 °C, dado que se identificaron diferencias significativas en el peso final en comparación con las temperaturas de 45 °C y 65 °C. Aunque entre 45 °C y 65 °C no se observaron diferencias significativas, ambas temperaturas demostraron efectos similares.



RESOMENDACIONES

- A los gestores de residuos se recomienda promover el uso del aceite esencial de Citrus × latifolia en programas de gestión de residuos plásticos, destacando su efectividad como alternativa sostenible para reducir el impacto ambiental del poliestireno expandido.
- A los gestores investigadores, se sugiere utilizar una concentración del 70% de aceite esencial en experimentos futuros para maximizar la biodegradación de envases de poliestireno, evitando el uso de concentraciones innecesarias que no aporten beneficios adicionales.
- A las autoridades ambientales es recomendable establecer protocolos que contemplen un tiempo de exposición de 120 minutos para la biodegradación de envases de poliestireno, optimizando así los procesos de tratamiento de desechos.
- A la industria se aconseja llevar a cabo los procesos de biodegradación a 85 °C, ya que esta temperatura demuestra ser la más efectiva, garantizando un rendimiento óptimo en la eliminación de poliestireno.
- A los académicos y estudiantes, se recomienda realizar estudios adicionales que incluyan otras variables que puedan influir en la biodegradación, para enriquecer los hallazgos y perfeccionar el uso del aceite esencial de Citrus × latifolia en la gestión de residuos plásticos.

REFERENCIAS

ABDUL, Muhamma. Fire resistance performance of composite coating with geopolymers-based bio-fillers for lightweight panel application. *Journal of Applied Polymer Science* [en línea]. 2020, 137(47), 49558 [consultado el 29 de abril de 2024]. ISSN 1097-4628. Disponible en: doi:10.1002/app.49558

ÁLAVA, Sálury, Claribel VELÁSQUEZ. Evaluación de Bacillus sp. antárticos en la biodegradación de polietileno PET. *Tesis (Ingeniería Ambiental)*. Colombia: Escuela superior politécnica agropecuaria de manabí manuel félix López, 2023. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/handle/42000/2084>

ANKESH, jaikant y Sanjeev GOYAL. Properties of expanded polystyrene (EPS) and its environmental effects. *Avances y Aplicaciones en Ciencias Matemáticas*, 2021, vol. 20, pág. 2151-2162.

AÑANCA, Pedro. Diseño del proceso productivo de envases biodegradables a base de cascarilla de arroz y hojilla de algarrobo en la región Piura. (Trabajo de Investigación). Piura: Universidad de Piura, 2020. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/574857030/PYT-Informe-Final-Proyecto-BioEnvases>

ARIAS, José et al. Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis [en línea]. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, 2022 [consultado el 17 de mayo de 2024]. ISBN 9786125069047. Disponible en: doi:10.35622/inudi.b.016

Asociación Nacional de Poliestireno Expandido (ANAPE).2022 [sitio web]. Madrid, Productor: el poliestireno expandido (EPS), [fecha de consulta: 15 de abril de 20224. Disponible en: <http://www.anape.es/index.php?page=1>

ARTHUR, Lizette y Walter PÉREZ. Alternativas de bajo impacto ambiental para el reciclaje del poliestireno expandido a nivel mundial. *Informador Técnico* [en línea]. 2019 [consultado el 7 de mayo de 2024]. ISSN 2256-5035. Disponible en: doi:10.23850/22565035.1638

BOWLES, E. Alegría. Química de los aceites aromaterapéuticos. Routledge, 2020.

CARDOZO, Marbith. Biodegradación del poliestireno expandido por larvas de Tenebrio molitor L. (Coleoptera: Tenebrionidae), en condiciones de laboratorio. *Tesis (Ingeniería Ambiental)*. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2022. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34873>

REFERENCIAS

CASTAÑETA, Grover. Microplastics: A Contaminant That Grows in All Environmental Areas, Its Characteristics and Possible Risks to Public Health from Exposure. En línea. Revista Boliviana de Química, vol. 37 (agosto de 2020), n.º 3. ISSN 2078-3949. Disponible en: <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>. [consultado el 16/05/2024].

CHAVEZ, Sue, 2021. Prohibidos en Perú los envases de poliestireno para alimentos y bebidas. www.swissinfo.ch [en línea]. [consulta: 6 abril 2024]. Disponible en: [https://www.swissinfo.ch/spa/prohibidos-en-per%C3%BA-los-envases-de-poliestireno-para-alimentos-y-bebidas/47207420](http://www.swissinfo.ch/spa/prohibidos-en-per%C3%BA-los-envases-de-poliestireno-para-alimentos-y-bebidas/47207420).

CUI, Hao, et al. Essential Oils from Citrus reticulata cv. Shatangju Peel: Optimization of Hydrodistillation Extraction by Response Surface Methodology and Evaluation of Their Specific Adhesive Effect to Polystyrene. ACS omega [en linea]. Mayo 2021, pp. 13695–13703. [Fecha de consulta: 29 de abril de 2024] Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00895>

Exportaciones de plástico crecieron en el 2020 - La Cámara. La Cámara - La revista digital de la Cámara de Comercio de Lima [en línea]. [sin fecha] [consultado el 02 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://lacamara.pe/exportaciones-de-plastico-crecieron-en-el-2020/?print=print>

GAVILAN, Mayra y PALOMINO, Wendy. Recuperación de residuos de poliestireno expandido con aceite esencial de mandarina para elaborar un barniz ecológico para madera. (Tesis Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad Continental. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12963>

GIL, Nadia D. et al. A methodology for recycling waste expanded polystyrene using flower essential oils. Fuel [en línea]. 2022, 307, 121835 [consultado el 05 de mayo de 2024]. ISSN 0016-2361. Disponible en: doi:10.1016/j.fuel.2021.121835

IANNACONE, Jose. Microplásticos en la zona de marea alta y supralitoral de una playa arenosa del litoral costero del perú. En línea. The Biologist, vol. 17 (febrero de 2020), n.º 2. ISSN 1994-9073. Disponible en: <https://doi.org/10.24039/rtb2019172369>. [consultado el 16/05/2024].

Industria del tecnopor necesitaría cinco años para adecuarse a ley que prohibiría su uso [comunicado de prensa]. Gestión, 2022. [consultado el 7 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/industria-tecnopor-necesitar%C3%A1-cinco-a%C3%B1os-adecuarse-ley-prohibir%C3%A1-247955-noticia/>

REFERENCIAS

Instituto Nacional de Estadística. Actividad de restaurantes creció 9,28% en enero de este año, 2023. [en línea]. 29 [consultado el 27 de abril de 2024] Disponible en: <https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-043-2023-inei.pdf>

ISMAN, Murray. Commercial development of plant essential oils and their constituents as active ingredients in bioinsecticides. *Phytochemistry reviews*, 2020, vol. 19, p. 235-241.

JACOY, Jhon y QUISPE, Cristhian. Reaprovechamiento de residuos de poliestireno expandido usando Limoneno extraído de cáscaras de Citrus Paradisi en Lurín, Lima – 2020. Tesis (Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2020. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/75478>

JIMÉNEZ-ROJAS, Evelyn et al. Uso de un solvente verde para la reducción del volumen del poliestireno expandido en un establecimiento educativo. *Revista Ing-Nova* [en línea]. 2022, 1(1), 18–29 [consultado el 7 de mayo de 2024]. ISSN 2805-9182. Disponible en: doi:10.32997/rin-2022-3725

Lanzan campaña ‘Perú cero tecnopor’. Elperuano.pe [en línea], 27 de junio de 2022. [consulta: 6 abril 2024]. Disponible en: <https://www.elperuano.pe/noticia/216410-lanzan-campana-peru-cero-tecnopor>.

LUZ, Mário Sérgio da et al. Reciclagem de Poliestireno Expandido (EPS) Recycling: Um processo ambientalmente favorável para a recuperação do poliestireno (PS) usando óleo de soja residual. HOLOS [en línea]. 2023, 5(39) [consultado el 6 de mayo de 2024]. ISSN 1807-1600. Disponible en: doi:10.15628/holos.2023.16351

MAGUIRA, Andrés. Tipos de investigación y sus características. QuestionPro [en línea], 2022. [consultado el 12 de mayo de 2024]. Disponible en : <https://www.questionpro.com/blog/es/tipos-de-investigacion-de-mercados/>

MOLLEHUARA, Ma. et al. Systematic review: Analysis of the use of D-limonene to Reduce the Environmental Impact of Discarded Expanded Polystyrene (EPS). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [en línea]. 2022, 1048(1), 012003 [consultado el 08 de mayo de 2024]. ISSN 1755-1315. Disponible en: doi:10.1088/1755-1315/1048/1/012003

MONTES DE OCA, Yoberth. Metodología de investigación en emprendimiento: Una estrategia para la producción científica de docentes universitarios. *Revista de Ciencias Sociales* [en línea]. 2022 [consultado el 1 de mayo de 2024]. Disponible en: doi:10.31876/rcs.v28i2.37945

REFERENCIAS

MOSTAJO, Martha. Efectividad de micromycetos en la degradación de polietileno aislados de botaderos de la provincia del Cusco. Tesis (Ingeniería Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2021. Disponible en: <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.06.05>

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE MOYOBAMBA. Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales de la Ciudad de Moyobamba, 2016. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/munimoyobamba/normas-legales/5491871-515-2019-mpm-a>

SIESQUEN, Blanca y TRUJILLO, Macarena. Utilización del gusano de cera (Galleria mellonella) para la biodegradación de los contenedores de poliestireno expandido (tecnopor). Tesis (Ingeniería Ambiental). Tarapoto: Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47724>

VALLADOLID, Marvin. Biodegradación del poliestireno expandido mediante el uso de la especie *Tenebrio molitor* (gusano de harina), Arequipa – 2022. Tesis (Ingeniería Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2022. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13018>

YANG, Huirong, Guanglong CHEN y Jun WANG. Microplastics in the Marine Environment: Sources, Fates, Impacts and Microbial Degradation. Toxics [en línea]. 2021, 9(2), 41 [consultado el 12 de mayo de 2024]. ISSN 2305-6304. Disponible en: doi:10.3390/toxics9020041

WANG, Liuwei et al. Environmental fate, toxicity and risk management strategies of nanoplastics in the environment: Current status and future perspectives. Journal of Hazardous Materials [en línea]. 2021, 401, 123415 [consultado el 03 de mayo de 2024]. ISSN 0304-3894. Disponible en : doi : 10.1016/j.jhazmat.2020.123415

XU, Jun et al. Nano- and micro-plastic transport in soil and groundwater environments: Sources, behaviors, theories, and models. Science of The Total Environment [en línea]. 2023, 166641 [consultado el 06 de mayo de 2024]. ISSN 0048-9697. Disponible en: doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.166641

AUTORES

LUSGARDO WIAN PUELLES CHUQUIZUTA: Ingeniero de Sistemas agregado al Colegio de Ingenieros del Perú (CIP 237020), Doctorante de la Universidad Nacional de San Martín en el programa de Gestión Empresarial, Maestría en Administración con mención en Gestión Pública en la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Amplia experiencia en el manejo de metodologías para el desarrollo de software, además de una integra colaboración como docente en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Senati y la Universidad Cesar Vallejo. Experiencia laboral como responsable del Servicio de Comunicaciones del Hospital II – 1 Rioja, integrando tecnologías en beneficio de la salud pública, colaborador en el desarrollo de expedientes y proyectos de inversión. Impulsador de centros de investigación científica para el fortalecimiento de conocimientos. <https://orcid.org/0000-0001-9696-6456>

ANA MILAGROS TORREJÓN VELA: Profesional en Ingeniería Ambiental, egresado de la Universidad César Vallejo. Su formación académica le ha permitido adquirir sólidos conocimientos en gestión ambiental, evaluación de impacto ambiental, tratamiento de residuos y sostenibilidad. A lo largo de su trayectoria, ha demostrado un fuerte compromiso con el desarrollo de soluciones técnicas orientadas a la conservación del medio ambiente y la mejora de la calidad de vida de las comunidades. Torrejón Vela se ha desempeñado en diversos proyectos relacionados con el monitoreo ambiental y la implementación de sistemas de gestión bajo normas ISO. Posee habilidades en el manejo de herramientas SIG, así como experiencia en la elaboración de informes técnicos y diagnósticos ambientales. Su enfoque multidisciplinario le permite integrar aspectos sociales, económicos y ecológicos en la toma de decisiones. Es reconocido por su capacidad analítica, liderazgo y orientación a resultados sostenibles en el ámbito público y privado. <https://orcid.org/0000-0002-1314-376X>

ELITA ARCE PEÑA: Profesional en Ingeniería Ambiental formada en la Universidad César Vallejo, con una sólida preparación en la prevención, mitigación y control de impactos ambientales. Su perfil destaca por su dominio en áreas como gestión de residuos sólidos, evaluación ambiental, y normativas nacionales e internacionales en materia ambiental. A lo largo de su formación y experiencia, ha participado en proyectos orientados a la sostenibilidad y al cumplimiento de estándares ambientales en distintos sectores productivos. Posee habilidades en el uso de herramientas técnicas como sistemas de información geográfica (SIG) y monitoreo ambiental.

AUTORES

tal. Elita se caracteriza por su enfoque proactivo, capacidad analítica y compromiso con la protección del entorno natural. Además, muestra una destacada capacidad para trabajar en equipo y liderar iniciativas de mejora ambiental tanto en entornos urbanos como rurales. <https://orcid.org/0000-0002-2862-2501>

SEGUNDO VICTOR LEÓN RAMÍREZ: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad, con sólida trayectoria como consultor en temas de modernización del Estado, políticas públicas y mejora de la gestión institucional. Especialista en Arbitraje en Contrataciones con el Estado, con experiencia en la resolución de controversias y en la aplicación del marco normativo de contrataciones públicas. Investigador inscrito en el Registro Nacional de Ciencia, Tecnología y de Innovación Tecnológica (RENACYT), con producción académica orientada al fortalecimiento de la gestión pública y la gobernanza. Actualmente me desempeño como docente universitario en programas de pregrado y posgrado, promoviendo la formación integral y ética de futuros profesionales. <https://orcid.org/0000-0003-2388-450X>

HÉCTOR MANUEL SUÁREZ RÍOS: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad. Maestro en Ciencias Económicas. Maestro en Investigación y Docencia Universitaria. Ingeniero de Sistemas. Con sólida experiencia en procesos del sector público, ocupando cargos jefatura y gerencial. Experiencia en proyectos de tecnología y comunicaciones en hardware y software. Con experiencia en docencia universitaria en pregrado, promoviendo la formación humanística, tecnológico y ético con visión integral. <https://orcid.org/0000-0003-2877-5046>

JEYSI SOTERO CHUMBE: Ingeniera Ambiental de profesión, con una sólida trayectoria como especialista en medio ambiente, desarrollando e implementando estrategias orientadas a la sostenibilidad y la gestión ambiental eficiente. Cuento con una Maestría en Docencia Universitaria, lo que me ha permitido combinar mi formación técnica con una vocación educativa, promoviendo la formación integral de estudiantes y futuros profesionales. He desempeñado funciones en el ámbito académico con amplia experiencia en el manejo y dirección de programas educativos, fortaleciendo procesos de enseñanza-aprendizaje y la gestión institucional con enfoque de calidad. Actualmente me desempeño como docente universitaria, comprometida con la formación ética, crítica y responsable de las nuevas generaciones. <https://orcid.org/0000-0003-2684-8416>

AUTORES

ISABEL CRISTINA PEREA DEL AGUILA: Maestra en gestión pública, con especialización en Recursos Humanos del Sector Público; con amplia y reconocida trayectoria en el área de Recursos Humanos del sector de salud pública. Actualmente me desempeño como docente universitario en el programa de pregrado en la facultad de ciencias empresariales y responsable del área del Centro de Innovación y Emprendimiento, buscando la formación profesional de los futuros líderes de nuestro país. <https://orcid.org/0000-0002-4601-8594>

TONY VENANCIO PEREYRA GONZALES: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad, Maestro en Gestión Pública, Licenciado en Administración, con experiencia en manejo de personal, con conocimiento adquirido a través de los años en el área de ventas, conocimiento de Computación e informática, manejo efectivo de técnicas de ventas, desarrollo de procesos productivos, facilidad de manejo de grupos de venta, creativo, enfocado en desarrollo de trabajo en objetivos, facilidad de palabra, y habilidad en sinergia productiva (trabajo en equipo). Responsable e interactivo empresarial y personal. Con participación directa en los objetivos empresariales, flexible a los cambios y en decisiones bajo presión. Manejo de Presupuestos. Manejo Presupuestario de Obras. Manejo Logístico y financiero. Docente universitario con mucha participación en el desarrollo de la institución que me alberga. Asesor de trabajos productivos y emprendimientos. <https://orcid.org/0000-0003-3833-2126>

CÉSAR AUGUSTO FLORES TANANTA: Doctor en gestión pública y gobernabilidad; maestro en administración de negocios – MBA; Contador Público Colegiado de profesión, Docente Investigador RENACYT, docente en la facultad de Ciencias Económicas, jefe de investigación formativa e integridad científica, jefe de investigación, desarrollo, innovación y transferencia tecnológica. <https://orcid.org/0000-0002-9336-1483>

VÍCTOR ENRIQUE VÁSQUEZ CUEVA: Economista con experiencia en gestión administrativa, control presupuestario y desarrollo de proyectos académicos. Actualmente es analista de repositorio en la Universidad César Vallejo, donde impulsa la gestión y difusión del conocimiento científico. Como autor, combina su formación económica y su experiencia en investigación para abordar temas con un enfoque analítico y estratégico. Se destaca por su adaptabilidad, trabajo en equipo, constancia y capacidad de comunicación efectiva, participando en la organización de eventos académicos y en el fortalecimiento de competencias investigativas. <https://orcid.org/0000-0002-3092-2714>

**UTILIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE
CITRUS X LATIFOLIA (LIMÓN TAHÍTÍ)
PARA LA BIODEGRADACIÓN DE ENVASES DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO**



- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br

**UTILIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE
CITRUS X LATIFOLIA (LIMÓN TAHITÍ)
PARA LA BIODEGRADACIÓN DE ENVASES DE
POLIESTIRENO EXPANDIDO**



- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- FACEBOOK www.facebook.com/atenaeditora.com.br