UEA Biología
PrePrint UEA

Sección Biología
Vol. BIO2324. ep11–63

| Recibido: 13/03/2024 |
| Aceptado: 15/04/2024 |
| Publicado: 05/11/2026 |

Aprovechamiento del proceso de reciclaje de poliestireno expandido y aplicación de limoneno para la producción de barniz y pintura metalizada en la ciudad de Puyo

Utilization of the expanded polystyrene recycling process and application of limonene for the production of varnish and metallic paint in the city of Puyo

Bryan Stalin Gavilánez López[1], Fidel Hugo Huatatoca Grefa[1] Yamila Lazo Pérez[1]

https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vBIO2324ep11-63 Crossref

Resumen

El presente trabajo se desarrolló en el laboratorio clínico Amazonas, como objetivo se evaluó la viabilidad técnica y ambiental del proceso de reciclaje del poliestireno expandido mediante el uso de limoneno como disolvente orgánico, dando nuevos usos, como el barniz y pintura metalizada, a través de la metodología adaptada de acuerdo al diseño experimental, considerando las características y valores del material, donde se realizó tres tipos de ensayo para cada revestimiento. Los resultados obtenidos mostraron una dependencia significativa respecto a la cantidad de poliestireno expandido en la solución de limoneno, lo cual mejora notablemente la eficacia de la disolución, asegurando resultados óptimos. Los revestimientos generados exhibieron propiedades prometedoras, como; el tiempo de secado, que fue determinado en función a la concentración del poliestireno expandido en el limoneno. Se observó que, a menor cantidad del polímero, la evaporación del solvente fue más rápida. Además, los revestimientos con una mayor concentración del polímero mostraron una mejor resistencia a las condiciones ambientales y propiedades hidrofóbicas, que determinan la adhesión y cohesión de los líquidos. Sin embargo, el estudio identificó ciertas desventajas que se deben abordar para garantizar la viabilidad a largo plazo. Entre las que se encuentra la disponibilidad y costes del limoneno a gran escala.

Palabras clave

biodegradación, orgánico, factores, disolución, miscibilidad, eficiencia.

Abstract

The present work was carried out at the Amazonas clinical laboratory, with the objective of evaluating the technical and environmental feasibility of the expanded polystyrene recycling process using limonene as an organic solvent, giving new uses such as varnish and metallic paint, through a methodology adapted according to the experimental design, considering the characteristics and values of the material, where three types of tests were performed for each coating. The results obtained showed a significant dependence on the amount of expanded polystyrene in the limonene solution, which notably improves the dissolution efficiency, ensuring optimal results. The generated coatings exhibited promising properties, such as drying time, which was determined based on the concentration of expanded polystyrene in limonene. It was observed that, with a lower amount of polymer, solvent evaporation was faster. Additionally, coatings with a higher polymer concentration showed better resistance to environmental conditions and hydrophobic properties, which determine the adhesion and cohesion of liquids. However, the study identified certain disadvantages that need to be addressed to ensure long-term viability. Among these is the availability and costs of limonene on a large scale.

Keywords

biodegradation, organic, factors, dissolution, miscibility, efficiency.

Direcciones

[1]Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: bs.gavilanezl@uea.edu.ec, Fh.huatatocag@uea.edu.ec, ylazo@uea.edu.ec

Autor para la correspondencia

Bryan Stalin Gavilánez López. Universidad Estatal Amazónica. Pastaza, Ecuador. Email: bs.gavilanezl@uea.edu.ec

Cómo citar

GAVILÁNEZ LÓPEZ, Bryan Stalin, HUATATOCA GREFA, Fidel Hugo and LAZO PÉREZ, Yamila 2026. Aprovechamiento del proceso de reciclaje de poliestireno expandido y aplicación de limoneno para la producción de barniz y pintura metalizada en la ciudad de Puyo. PrePrint UEA. Vol. BIO2324. p. ep11–63. https://doi.org/10.59410/PREPRINT-UEA-vBIO2324ep11-63

Editores Académicos Elizabeth Del Carmen Ramírez Iglesias

Editorial Editorial de la Universidad Estatal Amazónica 2026

Copyright

Derechos de autor 2026 | PrePrint UEA.
Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.
Los autores del artículo autorizan a la RACYT a que este artículo sea compartido bajo las condiciones de la Licencia Creative Commons 4.0 (CC-BY 4.0).

1. Introducción

En medio de una era en la que la producción masiva de plásticos ha alcanzado proporciones asombrosas, la humanidad se enfrenta a un desafío monumental en la gestión de residuos. “Cada año la humanidad produce más de 430 millones de toneladas de productos plásticos a nivel global, muchos son de vida corta. Además, el 46% de los residuos plásticos se deposita en vertederos municipales, mientras que el 22% se gestiona de manera inadecuada y se convierte en desechos no aprovechados, lo que representa un problema para la gestión de los residuos sólidos” (1).

En el contexto ecuatoriano, la situación no es ajena a esta realidad global, en el 2020, el Ecuador fue el tercer país de América Latina que más desechos plásticos importó desde Estados Unidos, solo por detrás de México y El Salvador (2). En el país la estimación de residuos sólidos que genera la población de 15,520,973 habitantes según el censo del año 2010, sería de aproximadamente 4,139,512 toneladas al año. Además, de una producción per cápita (PPC) de 0,73 kg/día/año (3).

El cantón Pastaza, a pesar de su belleza natural, no escapa a los desafíos inherentes a la gestión de residuos en la

actualidad. Con una población registrada de 62,016 habitantes según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en 2010 (4), el cantón enfrenta una generación diaria considerable de desechos sólidos y sanitarios. La magnitud de este problema, se refleja en la producción estimada de aproximadamente 4,83 toneladas por día de desechos sólidos comunes, según datos proporcionados por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Pastaza (5).

Más del 70% de los residuos plásticos corresponden a polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo y poliestireno. El poliestireno expandido (EPS) es un material químicamente inerte cuya biodegradación es muy lenta, tarda entre 300 y 500 años en descomponerse en el medio ambiente (6).

El EPS está compuesto por un 98% de aire y un 2% de poliestireno (7). Sin embargo el poliestireno, ya sea en su forma expandida o tradicional, es un polímero con propiedades reciclables. En la actualidad, se estima que se generan aproximadamente entre 40 y 50 kilogramos por persona de residuos de poliestireno a nivel mundial (8). Esta cantidad subraya la importancia de aprovechar eficientemente este material en la creación de nuevos productos o materiales, destacando la necesidad de implementar estrategias de reciclaje para mitigar el impacto ambiental asociado con la gestión de estos residuos (9).

El reciclaje de poliestireno expandido (EPS) mediante disolución en solventes orgánicos reduce significativamente su volumen, pero es costoso y poco amigable con el medio ambiente. Los solventes utilizados, como tolueno y acetona, son tóxicos. Por ello es relevante señalar que el limoneno, principal componente de los aceites esenciales presentes en las frutas cítricas, se posiciona como un solvente natural. Su obtención comercial se realiza mediante el proceso de extracción por arrastre de vapor. Este método, que aprovecha la volatilidad del limoneno, destaca por su carácter natural y sostenible, convirtiéndolo en una opción eficiente para diversas aplicaciones (10).

Por lo que la investigación tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnica y ambiental del aprovechamiento del proceso de reciclaje de poliestireno expandido (EPS), así como inquirir la aplicación del limoneno en la producción de barniz y pintura metalizada en la ciudad de Puyo. Evaluando la eficacia del limoneno como solvente natural, con el propósito de proporcionar una alternativa sostenible para la gestión de residuos plásticos y la producción de recubrimientos y pinturas metalizadas, contribuyendo así al desarrollo de prácticas más ecológicas.

2. Metodología

2.1. Geolocalización y relleno sanitario de la ciudad del Puyo

La ciudad del Puyo se encuentra situada en Ecuador, en la provincia de Pastaza, en la región central-oriental del país. Se encuentra a 924 msnm, 17S X: 833580,85338724; Y: 9835781,2230327, con una extensión territorial de 87,67 km2. Entorno donde se realizó la investigación sobre el reciclaje de desechos sólidos, los cuales son depositados en el relleno sanitario municipal para su posterior clasificación.

Por otro lado, el relleno sanitario de la ciudad de Puyo está ubicado en el kilómetro 7 de la vía principal Puyo-10 de agosto (ubicada a 3.5 km de la vía principal), al este de la ciudad UTM (17 S- 170817 - 9837197). Inició como un vertedero a cielo abierto en el año 1995, generando impactos ambientales en el entorno. Sin embargo, desde el año 2009 comenzó a operar funcionamiento bajo normativas y técnicas legales establecidas por el

Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), minimizando impactos y gestionando los residuos sólidos del Cantón Pastaza (**Figura 1**).

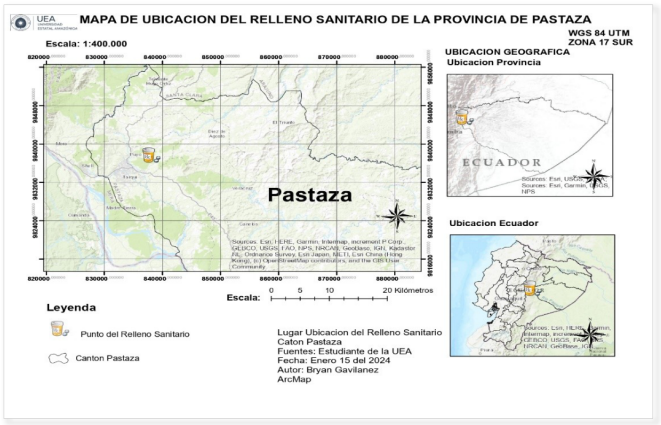


Figura 1 | Mapa geográfico, ubicación del relleno sanitario en coordenada UTM.

Laboratorio clínico y bacteriológico Amazonas.

Laboratorio clínico y bacteriológico Amazonas, con una trayectoria de 33 años al servicio de la comunidad, se encuentra ubicado en el centro de la ciudad del Puyo (UTM, 18 S 1.48501- 7800025), en el barrio Amazonas, en la intersección de las calles Bolívar y 20 de Julio.

Procedimientos empleados y Recursos.

Para acceder al relleno sanitario, se emplearon materiales esenciales para que asegurar un manejo adecuado de los residuos sólidos y su procesamiento. Se incluyeron elementos como botas de caucho, guantes quirúrgicos, mascarilla NK95, con el objetivo de prevenir la contaminación cruzada por agentes patógenos externos durante el reciclaje de los residuos sólidos. Asimismo, se utilizaron fundas plásticas quintaleras para el almacenamiento y transporte de las muestras de EPS obtenidas en el área de clasificación de residuos, con un total de 1.5 kg necesarias para llevar a cabo las pruebas.

Se registró información de importancia, como los datos de muestreo. Además, el usó del GPS (Coordenadas UTM), para marcar la ubicación exacta del sitio donde fueron tomadas las muestras, así como la utilización de la aplicación ArcGIS para realizar el mapa de georreferenciación.

El EPS comercial utilizado en este trabajo corresponde al polímero tipo P, con una densidad de 13 kg/cm^3. Este tipo de EPS se destaca por ser la clase estándar más económica y poseer mejores características mecánicas, lo que lo convierte en el más utilizado en la industria del hacking y contenedores de comida (11). El limoneno, un alqueno con una masa molecular de 136,23, presenta una densidad de 0,84 g/cm3 y

una solubilidad muy escasa en agua a 25°C, con un punto de inflamación de 48°C. Es el componente principal de los AE extraído de los cítricos (12). Estos dos componentes, el EPS Y el limoneno, son químicamente compatibles. La estructura química del limoneno le permite interactuar de manera efectiva con las cadenas del polímero (EPS) (13). El aceite orgánico se adquirió a través de la compra en línea, realizada con la empresa Productos Químicos (LP), reconocida como proveedora especializada en servicios y productos químicos.

En la elaboración de pintura, se utilizaron pigmentos de color de anilina, adquiridos en una cantidad de 20 g. Estos pigmentos fueron obtenidos en la librería CYBER LES DAY, ubicada en la ciudad del Puyo, en el barrio El Obrero.

La anilina es un compuesto químico líquido inflamable, con un olor acre desagradable, y una solubilidad ligeramente en agua. También conocida como amino benceno o fenilamina, tiene una fórmula química de C 6 H 7 N; C 6 H 5 N H2 y está clasificado como un compuesto orgánico. Este compuesto desempeña diversas funciones, ya que se emplea en la síntesis de otras sustancias químicas destinadas a la producción de polímero, así como en la industria de los tintes (14).

Para la preparación del recubrimiento y pintura se fundamentó en el enfoque propuesto por (10) y (13). Donde se adoptó un diseño experimental considerando las características y valores del material, ejecutando tres tipos de ensayo para cada módulo.

2.1. Preparación de recubrimiento

En la elaboración del recubrimiento se determinó los siguientes valores de poliestireno expandido y limoneno.

Tabla 1 | Valores asignados de acuerdo a las características de los Barnices elaborados.

Características				
Composición		Recubrimiento 1	Recubrimiento 2	Recubrimiento 3
	EPS (g)	5 g	7.5 g	15 g|
	AE (ml)	15 ml	25 ml	35ml
Tiempo de disolución (min)				
% de SPS en la solución.		33	30	43
Solución		Homogénea	Homogénea	Homogénea
Tiempo de secado aproximado (h)		0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 – 2
Aspecto				
Brillo				
Ángulo de contacto (º)		Adhesión > cohesión	Adhesión > cohesión	Adhesión > cohesión

Para llevar a cabo el proceso de los barnices, primero, se colocaron 100 ml de extracto acuoso (AE) en una probeta de 300 ml. Se prepararon tres vasos precipitados de 100 ml cada uno y con una pera de succión junto con una pipeta graduada de 10 ml para aplicar limoneno según los valores establecidos en los ensayos indicados en la **Tabla 1**.

Luego, se pesaron tres muestras de poliestireno expandido de 5 g, 7.5 g y 15 g, respectivamente, utilizando una balanza digital. Se trituraron las muestras en fragmentos pequeños, aplicando: 5 g en el ensayo 1 con 15 ml de AE, 7.5 g en el ensayo 2 con 25 ml de AE y 15 g en el ensayo 3 con 35 ml de AE. Mezclando cada ensayo con una paleta de madera hasta alcanzar la saturación, asegurándose de obtener una solución homogénea, sin la presencia de grumos del polímero.

Para mejorar la solubilidad de la solución obtenida, se sometió a agitación en una balanza agitadora serie 321 a 300 rpm durante 5 minutos. Este paso tiene como objetivo lograr una distribución uniforme de las partículas de EPS y limoneno en la solución.

2.2. Preparación de Pintura

En cuanto a la preparación de la pintura, se utilizó como agente disolvente el recubrimiento obtenido de la primera fase experimental (barniz ml) y (anilina g), con los valores definidos.

Para el proceso de la pintura, se aplicaron los valores establecidos en la **Tabla 2**. Se utilizó una pipeta milimétrica para administrar 10 ml de los recubrimientos obtenidos en la primera fase experimental, en envases de 1 onza, a distintas concentraciones de EPS en la disolución; 33%, 30% y 43%, como se detalla en la Tabla 1. Posteriormente, utilizando una balanza digital y un vidrio de reloj, se pesaron 3 g de anilina azul para los tres ensayos de pintura. Consecutivamente, se procedió a mezclar la solución durante 15 minutos, asegurando una homogeneidad entre soluto y solvente.

Simultáneamente, la disolución de pintura obtenida, al igual que el recubrimiento, se sometió a la balanza agitadora de la serie 321 a 300 rpm, durante 5 minutos. Con la finalidad de garantizar la distribución uniforme de las partículas del recubrimiento y la anilina en toda la disolución, logrando así una estabilización efectiva.

Una vez obtenido los barnices y pintura en diferentes concentraciones, se evaluaron los diferentes factores: a) tiempo de secado b) exposición a condiciones ambientales c) hidrofobicidad.

a) Tiempo de secado.

Para determinar el tiempo de secado para los distintos productos obtenidos, con un pincel plano K5142819-SA se procedió a colocar el recubrimiento y pintura sobre las superficies de los sustratos (madera-hierro). Estos se secaron a temperatura ambiente sin exponer directamente al sol, calculando su tiempo mediante un cronómetro de celular. Además, se observaron los diferentes aspectos que poseen los barnices y

pintura.

De acuerdo con las normas Cubanas ASTM 1640 (2014) las condiciones y el tiempo de secado para revestimientos orgánicos. “Se llevarán a cabo todos los ensayos de secado en cámaras o habitaciones bien ventiladas, libres de corrientes de aire directo, polvo, productos de combustión, gases de laboratorio y bajo una luz difusa. Hacer todas las mediciones a una temperatura de 23 ± 2 0 C y con una humedad relativa de 50 ± 5% con los paneles recubiertos en posición horizontal durante el secado” (15).

Tabla 2 | Valores asignados de acuerdo a las características de las pinturas elaboradas.

Características				
Composición		Pintura 1	Pintura 2	Pintura 3
	Anilina (azul) (g)	3 g	3 g	3 g
	Recubrimiento (ml)	10 ml	10 ml	10 ml
Tiempo de disolución (min)				
% de anilina en la disolución		30	30	30
Solución		Homogénea	Homogénea	Homogénea
Tiempo de secado aproximado (h)		0,5-2	0,5-2	0,5-2
Aspecto				
Brillo				
Ángulo de contacto (º)		Adhesión>cohesión	Adhesión>cohesión	Adhesión>cohesión

El tiempo de secado “al tacto” se determina tocando la película de prueba y presionando la yema del dedo, la presión no debe exceder la necesidad para transferir una mancha de 3 a 5 mm en sección cruzada. Se considera que está seca cuando la muestra cierta pegajosidad, pero no se adhiere al dedo (15).

b) Resistencia a condiciones ambientales.

Las películas de los recubrimientos de barnices y pinturas que se aplicaron en los sustratos de madera y metal, fueron expuestos a diferentes condiciones ambientales. Realizando un seguimiento de visualización para determinar cambios estructurales en su superficie, expuestas durante; 7, 14, 21 y 28 días, evaluando su resistencia. Resultados expuestos en la **Tabla 3 y 4**.

Tabla 3 | Características y resultados obtenidos de los barnices elaborados.

Características				
Composición		Recubrimiento 1	Recubrimiento 2	Recubrimiento 3
	EPS (g)	5 g	7.5 g	15 g
	AE (ml)	15 ml	25 ml	35ml
Tiempo de disolución (min)		10,42	11,11	22,34
% de SPS en la solución.		33	30	43
Solución		Homogénea	Homogénea	Homogénea
Tiempo de secado aproximado (h)		0,5 - 2	0,5 - 2	0,5 – 2
Aspecto		Transparente	translúcido	Opaco
Brillo		Brilloso	Brilloso	Brilloso
Ángulo de contacto (º)		θ<54,0° Adhesión > cohesión	θ<54,58° Adhesión > cohesión	θ<58,08° Adhesión > cohesión

Bermúdez et al., (16) explicaron que el comportamiento expuesto de un revestimiento orgánico a un medio específico está influido por diversos factores, meteorológicos, ambientales, preparación superficial, así como las características de aplicación y del sustrato. Entre los factores de mayor efecto negativo se encuentra la radiación solar (UV), humedad, contaminantes y temperatura.

Escobar y Meeker (17) delinean la interpretación de los modelos de degradación de materiales, clasificándolos en lineales, convexos y cóncavos. En los modelos lineales, el desgaste es proporcional al tiempo. Los convexos en la tasa de degradación con el crecimiento del nivel de deterioro. En cuanto que, los modelos cóncavos no dependen de los factores ya mencionados si no de otros factores.

c) Hidrofobicidad.

Con el propósito de llevar a cabo este procedimiento, se colocará una cantidad de agua (0.25ml) sobre los revestimientos

(recubrimiento-pintura) aplicados en un portaobjetos. Posteriormente, se capturaron imágenes y se cuantificó el ángulo formado entre la gota de agua y la superficie de los sólidos.

Para determinar los grados del ángulo de contacto se empleó el programa Imagen J, analizando cada imagen fotografiada de los ensayos a diferentes concentraciones. Se repitió los análisis en tres ocasiones para garantizar la reproducibilidad, y se informó la media de los valores obtenidos. "Si la gota presenta un ángulo mayor de 90°, se parecerá a una gota esférica, teniendo un comportamiento hidrófobo. Si por el contrario la gota tiene un ángulo de contacto menor de 90°, será una gota muy plana y se esparcirá por la superficie, presentando un comportamiento hidrófilo" (18).

Tabla 4 | Características y resultados obtenidos de las pinturas elaboradas.

Características			
Composición	Pintura 1	Pintura 2	Pintura 3
Anilina (azul) (g)	3 g	3 g	3 g
Recubrimiento (ml)	10 ml	10 ml	10 ml
Tiempo de disolución (min)	20	20	20
% de anilina en la disolución	30	30	30
Solución	Homogénea	Homogénea	Homogénea
Tiempo de secado aproximado (h)	0,5-2	0,5-2	0,5-2
Aspecto	Azul mate	Azul mate	Azul mate
Brillo	Satinada	Satinada	Satinada
Ángulo de contacto (º)	θ<57,21° Adhesión>cohesión	θ<59,74° Adhesión>cohesión	θ<66,01° Adhesión>cohesión

La comprensión y control del ángulo de contacto son fundamentales para optimizar el rendimiento de materiales y productos en diferentes aplicaciones y definir si será compatible y se va a adherir a otras superficies.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados

3.1.1. Análisis de recubrimiento y pintura

La **Figura 2** se muestra la reacción de disolución de EPS/AE, donde el valor más alto pertenece al barniz 3, con un tiempo de disolución de 22,34 min, mientras que los barnices 1 y 2 presentan un tiempo inferior. El barniz 1 con el menor tiempo de reacción de 10,42 min, con una diferencia poco significativa de 0,69 s menos que el barniz 2.

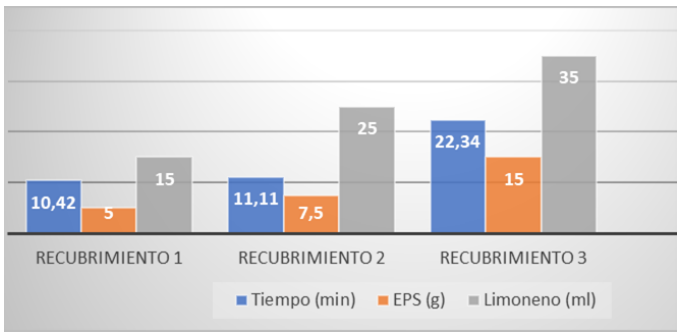


Figura 2 | Tiempo de disolución de EPS a diferentes proporciones (g/ml) de materiales.

Determinando que el tiempo de disolución de (EPS/EA) tiene mejor eficiencia cuando el soluto (EPS) está en proporciones inferiores a la del solvente. Así mismo este proceso es influido por la acción de agitación y mezcla, sin las acciones de estas el tiempo de proceso es más prolongado. Por lo tanto, resulta eficiente usar proporciones EPS/AE adecuadas para una mejor homogenización.

En la pintura los pigmentos del colorante de anilina difieren en sus características de solubilidad y métodos de aplicación, ya que este compuesto es soluble en agua y solventes hidroxílicos: alcohol, propilenglicol, glicerina o en solventes lipofílicos (menos frecuente) (14).

La velocidad de disolución de un colorante en polvo en una sustancia acuosa depende de varios factores, como el tamaño de partícula del pigmento, la agitación del líquido, la temperatura y la naturaleza química tanto del pigmento como del solvente, por lo que se optó por un tiempo determinado de 20 minutos para su estabilización.

No existe un tiempo específico que se aplique universalmente a todos los pigmentos en polvo en todas las condiciones. En términos generales, la mayoría de los pigmentos en polvo comienzan a dispersarse y disolverse en una sustancia acuosa en cuestión de minutos a horas, especialmente si se agita o mezcla la solución.

3.1.3. Secado.

Los datos de la **Tabla 5** representan el tiempo de secado de las películas de barnices, aplicados sobre sustratos de madera y hierro. Se observó que el barniz 2, con una concentración del 30 % de (EPS/AE), presentó un menor tiempo, con 24 min en la superficie de madera. Mientras que el barniz 3, con una concentración del 43 %, presento un aumento exponencial, con 13 min por encima del barniz 2. Sin embargo,

los dos barnices (2;3) presentan una diferencia poco significativa sobre las superficies de hierro, con un minuto más (bnz 2:30 min - bnz 3: 31min). Por lo que se determinó que el tiempo que demora en secarse las películas de los barnices, dependió de la concentración de EPS/AE (%) Tabla 3. Así, como los tipos de superficie sobre la cual fueron aplicados.

Tabla 5 | Tiempo de secado de los diferentes barnices a condiciones ambientales. En determinación de tipo de sustrato y concentración.

Factor tiempo					
Barnices	Sustrato	EPS (g)	Limoneno (ml)	Concentración (EPS/AE) (%)	Tiempo de secado (min)
Barniz 1	Madera	5 g	15 ml	33%	24
	hierro	5 g	15 ml	33%	31
Barniz 2	Madera	7.5 g	25 ml	30%	24
	hierro	7.5 g	25 ml	30%	30
Barniz 3	Madera	15 g	35 ml	43%	32
	hierro	15 g	35 ml	43%	|31

Los valores expresados en la **Tabla 6**, muestran el tiempo de secado de las películas de pintura, mismas que presentaron una diferencia exponencial con relación al tiempo de secado los barnices Tabla 5. Los tres tipos de pintura presentaron un tiempo semejante, de 60 min de superficies de hierro y 53 min en las de madera. Esta igualdad de valores se presenta por el porcentaje de la concentración de anilina presente en el solvente (anil/bnz) **Tabla 4**.

Tabla 6 | Tiempo de secado las pinturas a condiciones ambientales. En determinación de tipo de sustrato y concentración.

Factor tiempo						
Pinturas	Sustrato	Anilina (g)	Barniz (ml)	Concentración (EPS/AE) (%)	Concentración (anil/bnz) (%)	Tiempo (min)
Pintura 1	Madera	3 g	10 ml	33	30	53
	hierro	3 g	10 ml	33	30	60
Pintura 2	Madera	3 g	10 ml	30	30	53
	hierro	3 g	10 ml	30	30	60
Pintura 3	Madera	3 g	10 ml	43	30	53
	hierro	3 g	10 ml	43	30	60

Sin embargo, como se mencionó en los resultados de los barnices este factor también es influido por el sustrato sobre el cual es aplicada la película de pintura. En los que resalta la porosidad inherente de la madera que permite una absorción más efectiva de los revestimientos, facilitando la evaporación rápida de los solventes y acelerando el proceso de secado. En contraste, la superficie más lisa y menos porosa del hierro puede obstaculizar la penetración de la pintura, ralentizando su secado.

3.1.4. Condiciones ambientales.

El seguimiento realizado durante el periodo de 4 semanas, analizando semanalmente si había cambios físicos en la película de los revestimientos aplicados sobre las superficies de madera y hierro, **Tabla 7 y 8**. Los resultados fueron favorables, ya que no s observaron alteraciones visibles en su estructura física. La adherencia se mantuvo resistente, y el brillo permaneció constante, como se expone en la **Figura 3**.

Los recubrimientos de barniz y pintura, demostraron una notable capacidad para preservar la estética de las superficies tratadas, proporcionando un rendimiento óptimo frente a los factores ambientales y al paso del tiempo. Además, es importante destacar que estos recubrimientos no solo embellecen las superficies, sino que también actúan como una capa protectora contra la formación de sustancias corrosivas en la superficie del hierro. Esto se evidencia en estudios como “Uso de poliestireno expandido reciclado para la obtención de un recubrimiento anticorrosivo” realizado por Castellar, et al., (19) donde se confirma la fiabilidad y eficacia de este tipo de recubrimiento anticorrosivo.

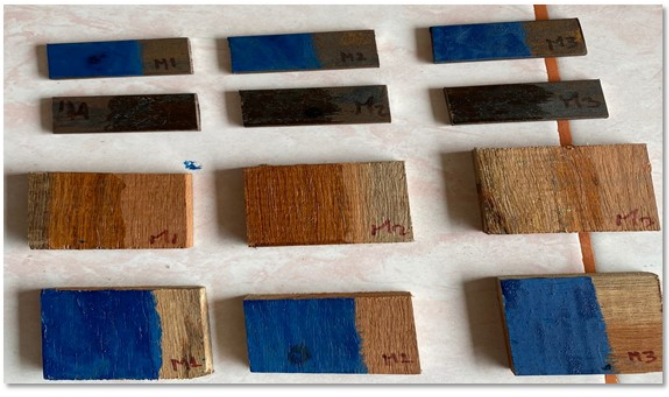


Figura 3 | Resultados finales obtenidos en el periodo de 28 días. En superficies de madera y hierro. Factor (condiciones ambientales/Tiempo).

Tabla 7 | Resistencia de los barnices a condiciones ambientales. Tiempo de observación, 4 semanas.

Condiciones ambientales						
Barnices	Concentración (EPS/AE) (%)	Sustrato	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Barniz 1	33	Madera	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
		hierro	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
Barniz 2	30	Madera	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
		hierro	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
Barniz 3	43	Madera	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
		hierro	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios

Tabla 8 | Resistencia de pintura a condiciones ambientales. Tiempo de observación, 4 semanas.

Condiciones ambientales							
Pinturas	**Con. (EPS/AE) (%)**	**Con. (anil/bnz) (%)**	**Sustrato**	**Semana 1**	**Semana 2**	**Semana 3**	**Semana 4**
Pintura 1	33	30	Madera	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
			hierro	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
Pintura 2	30	30	Madera	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
			hierro	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
Pintura 3	43	30	Madera	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios
			hierro	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios	Sin cambios

3.1.5. Hidrofobicidad.

Los valores medios de los ángulos de contacto, según se detallan en la Tabla 3 y 4, proporcionan información crucial sobre las propiedades hidrofóbicas de los recubrimientos y pinturas analizados. Aquellos valores son inferiores a los 90° son hidrofílica (Adhesión > cohesión), en los recubrimientos y pinturas estudiados, los ángulos de contacto fueron inferiores 90° (θ<90°).

La Tabla 4, expresa los diferentes valores del ángulo de contacto de las pinturas, la muestra 3 con un ángulo de 66.01°, presento mejores propiedades hidrofóbicas. Mientras que para los barnices Tabla 3, los grados son inferiores, con un máximo de 58,08° para la muestra 3 y 54° la muestra 1 que menor (Adhesión > cohesión) presento.

En los dos tipos de revestimiento (barniz y pintura) el aumento del ángulo de contacto tiene relación con la concentración de EPS/AE, a más concentración tenga las disoluciones mayores será la medida del (°). Este fenómeno tuvo una relación directa en la hidrofobicidad del agua **Figura 4**. Siendo un factor determinante en la mejora de las propiedades hidrofóbicas de los revestimientos.

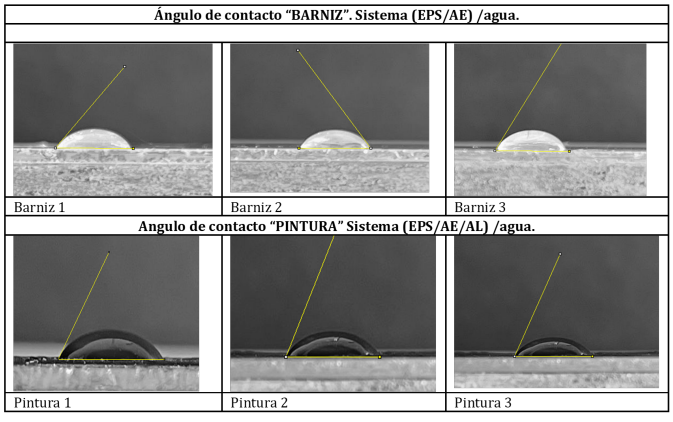


Figura 4 | Ángulo de contacto, a) Barniz; b) Pintura.

3.2. Resultados

3.2.1. Barniz

Los resultados de la disolubilidad, analizados a partir de diferentes volúmenes de EPS/AE (Tabla 3), revelaron que el barniz 1 presentó tiempo de disolución menor, con 10,42 min, mientras que el barniz 3, requirió 22,43 min para alcanzar una homogenización estable. Esto sugiere que el tiempo de disolución está influenciado por el volumen del limoneno (ml) y peso del poliestireno expandido (g), destacando su importancia en el proceso. Estos hallazgos coinciden con los resultados de Ingrit P. y Jeffrey L (2021) (13), quienes observaron una relación directa entre la concentración y el tiempo de disolución hasta alcanzar el punto de saturación. Además, destacaron que el aumento de temperatura del limoneno facilita la integración entre soluto y solvente, disminuyendo el tiempo de unificación del EPS/AE presentando un enfoque químico preciso y eficaz. Asimismo, atribuyen la importancia en la semejanza estructural entre solvente y polímero, ya que esto mejora la integración entre soluto y solvente obteniendo una mejor miscibilidad.

En cuanto al factor tiempo de secado, conforme a las pautas establecidas por ASTM D-1640, los barnices obtuvieron el menor tiempo Tabla 5. Resaltando la película del barniz 2 aplicado sobre madera con 24 min y 30 min en la superficie de hierro, cuya concentración de EPS/AE fue de 30%. Estos resultados son consistentes con los hallazgos obtenidos por (20) Mayra G. y Luis R., (2021), quienes determinan el tiempo en función del porcentaje de concentración; 10%, 20%, 30% y 40% (soluto/solvente), encontrando que concentraciones bajas acortaron el tiempo de secado.

En relación factores ambientales, los resultados detallados en la Tabla 5, siguiendo los parámetros establecidos por (16) Bermúdez C et. al 2012, no mostraron afecciones en su estructura física mediante el tiempo definido de prueba. Sin embargo, contradiciendo estas afirmaciones, otro estudio como el de 2 (20) Mayra G. y Luis R., (2021) sugieren que

los revestimientos pueden ser afectados por otros factores, como los microorganismos que se encuentran en los sólidos reciclados.

La determinación del ángulo de contacto (tabla 3) reveló que el barniz 3, con un ángulo de 58,08°, demostró propiedades hidrofóbicas superiores, influenciadas por la concentración de EPS/AE. Este resultado coincide con las afirmaciones de Taverna et. al. (10), quienes encontraron que un mayor porcentaje de concentración resultó en un ángulo de contacto intermedio de 60,21°, obteniendo un barniz de mojabilidad intermedia. Por lo tanto, la concentración de EPS/AE juega un papel crucial en las propiedades hidrofóbicas del barniz.

3.2.2. Pintura

En cuanto a las pinturas presentan valores más elevados en el factor tiempo de secado en relación a los barnices, con un tiempo de 50 y 60 min para todas sus concentraciones Tabla 6. Figueroa. y Parra (21) determinan que el tiempo de secado depende directamente de la media del disolvente en relación con la velocidad de evaporación, por lo que los valores obtenidos en la tabla 6 varían en dependencia de los (ml) de solvente en la primera fase experimental para la obtención de los recubrimientos. A pesar de lo mencionado la presente investigación plantea que este factor es influido dependiendo a la superficie que es aplicada, tal como se lo expuso en los barnices, ya que la película de pintura obtenida es el resultado de la evaporación del solvente.

Los valores obtenidos durante el periodo de prueba a las condiciones ambientales en el tiempo de 4 semanas, arrojaron que las 3 muestras aplicadas no presentaron cambios cualitativos en su estructura física Figura 2. Márquez et al., (22) sugiere que la aplicación de aditivos como el AbXEPS, es útil para mejorar las características de la pintura.

En cuanto a la hidrofobicidad, las pinturas presentan una menor compatibilidad con el agua (tabla 4), dando un ángulo de contacto máximo de 66.01°. Su repelencia tiene relación con los valores de los sólidos agregados en el solvente, ya que los pigmentos están relacionados en emulsión con el polímero. Sin embargo, hay que tener en consideración los aditivos propuestos por (22), por lo cual este estudio podría ampliarse, alineando con esta investigación.

No obstante, es crucial abordar algunas limitaciones y consideraciones. El proceso de reciclaje utilizando limoneno, aunque se muestra como una opción más sostenible que los solventes tradicionales, también plantea preocupaciones sobre la disponibilidad y el costo del mismo a gran escala. Asimismo, es importante evaluar el ciclo de vida completo de estos productos reciclados, considerando su producción, uso y disposición final, para comprender completamente su impacto ambiental.

4. Conclusiones

La investigación realizada evaluó la viabilidad técnica y ambiental respecto al reciclaje químico del poliestireno expandido (EPS) mediante el uso de aceite orgánico (limoneno). Los resultados demostraron una efectividad notable en la producción de nuevas aplicaciones, como barnices y pinturas.

El análisis de disolución del EPS/EA revelaron una eficiencia destacada en los revestimientos de barniz y pintura, especialmente cuando el soluto (EPS) estaba presente en proporciones inferiores al solvente, como se demuestra en la Tabla 3. Donde el barniz 1 demostró un tiempo de homogenización inferior en comparación de los barnices 2 y 3.

El tiempo de secado de las películas aplicadas de barniz y pintura Tabla 5 y 6 oscila entre 0,5 a 1 hora, mostrando tiempos inferiores los revestimientos sobre sustrato de madera. Lo que determinó como factor importante la concentración de EPS/AE (%), así como los tipos de superficies sobre la que se aplica.

Mientras que la resistencia a condiciones ambientales Tabla 7 y 8 y propiedades hidrofóbicas Tabla 3 y 4, los barnices y pinturas adquieren mejores características de resistencia mientras la concentración de EPS en AE aumenta; por lo que se estableció que el barniz y pintura con 43% de concentración tuvieron mejor resistencia a los factores ya mencionados.

Esto hallazgos ofrece una perspectiva positiva para abordar la problemática de la gestión de residuos sólidos de manera sostenible en la ciudad del Puyo y cantón Pastaza, de manera sostenible. Principio del formulario

Contribuciones de los autores

Bryan Stalin Gavilánez López: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Fidel Hugo Huatatoca Grefa: Adquisición y análisis de los datos; redactó el manuscrito, aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Yamila Lazo Pérez: Concepción del trabbajo; aprobó la versión enviada y la versión sustancialmente editada

Todos los autores aporbaron la version enviada y editada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

5. Referencias

1. Delta Plus Perú. La Crisis de la Contaminación por Plásticos: Un Desafío Global para el Medio Ambiente. En: Linkedin [en línea]. Enjoy Safety, 2023 [consulta: 7 enero 2024]. Disponible en: https://es.linkedin.com/pulse/la-crisis-de-contaminaci%C3%B3n-por-pl%C3%A1sticos-un-desaf%C3%ADo-global.

2. Universidad Andina Simón Bolívar. Ecuador sigue importando miles de toneladas de desechos plásticos, sobre todo desde. En: Alianza Basura Cero Ecuador [en línea] Quito, 2022 [consulta: 7 enero 2024]. Disponible en: https://www.uasb.edu.ec/wp-content/uploads/2022/04/Informe-Desechos-plasticos-Alianza-Basura-Cero-Ecuador-2022.pdf.

3. GUERRERO, J., TASAMBAY, A.; COFRE, F.; VALVERDE, C. Manejo de Residuos Solidos en la ciudad del Puyo. En: III Congreso Internacional

de Agroecología: Çomunidades en armonía con la naturaleza I Congreso Iberoamericano de Agricultura Sostenible. Puyo : Universidad Estatal Amazónica, 2018, pp. 214-290. ISBN: 978-9942-932-28-0.

4. INEC. Población y Demografía. En: Instituto Nacional de Estadística y Censos [en línea] Quito, 2010 [consulta: 12 marzo 2024]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/.

5. GAIBOR, K. Propuesta técnica para el cierre del relleno sanitario municipal del cantón Pastaza. Tesis de grado. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo, 2017 [consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: https://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/4218.

6. COLQUE, J. Evaluación de solubilidad de poliestireno expandido en d-limoneno-etanol. Tesis de grado. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio, 2022 [consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6586?locale-attribute=en. pág. 2, TESIS.

7. ROJAS, T. Poliestireno expandido (EPS): usos, ventajas y aplicaciones | Plastico. En: Plasticos [en línea] 2023 [consulta: 12 marzo 2024]. Disponible: https://www.plastico.com/es/noticias/poliestireno-expandido-eps-usos-ventajas-y-aplicaciones.

8. OLENA, D. y TROFIMOVAB, L. A Study of The Properties of Forming Mixtures Containing Polystyrene Wastes. Revista de ingeniería de materiales y fundición [en línea]. Ucrania, 2021, 5, 2, pp. 14-19 [consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: https://doi.org/10.7494/jcme.2021.5.2.14.

9. BONILLA, D. El Reciclaje como Estrategia Didáctica para la Conservación Ambiental. Revista Scientific [online]. 2016, 1, 1, pp. 36-52 [consulta: 23 enero 2024] : s.n. ISSN 2542-2987. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=563660226004.

10. TAVERNA, M., BORIGLIO, R., DOBLER, S., LESTA, M., SCOCCO, N, GARNERO, P. Preparación de un barniz basado en residuos poliméricos como complemento experimental para estudiantes de ingeniería. Educación química [en línea]. 2023, 2, 34, pp. 81-93 [consulta: 23 enero 2024] : s.n., 2023. ISNN 0187-893X. Disponible en: http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.2.8355284.

11. MARIONI, E., CHAVEZ, F. y ETCHEVERRY, S. Reciclado del poliestireno para el desarollo de una material solido y sus posibles aplicasiones. Uruguay : Universidad de la República de Uruguay, 2017, pp. 35.

12. URRUNAGA, M., DEL CARPIO, C., GUTIERREZ, R., TOMAYLLA, C. Propiedades fisicoquímicas, composición química y actividad antioxidante del aceite esencial de Citrus jambhiri (Limón rugoso). Revista de la Sociedad Química del Perú [en línea]. Peru : Universidad Nacional de San Antonio Abad, 2022, 88, 3, pp. 1-12 [consulta: 23 enero 2024]. ISSN 1810-634X. Disponible en: https://doi.org/10.37761/rsqp.v88i3.403.

13. PARDO, I. y LEON, J. Efecto de la concentración y temperatura en la disolución de poliestireno expandido usando solventes naturales. Avances Investigación en Ingeniería [en línea]. Bogota : AVANCES, 2021, 18, 2, pp. 1-14 [consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/7420/7086.

14. RODRIGO, R. Anilina: estructura, fórmula y usos. En: Estudyando [en línea] 2020 [consulta: 19 febrero 2024]. Disponible en: https://estudyando.com/anilina-estructura-formula-y-usos/.

15. Cuban National Bureau of Standards. Pinturas y barnices - Método de ensayo estándar para el secado, curado o formación de películas de recubrimientos orgánicos a temperatura ambiente. En: Oficina Nacional de Normalización [en línea] NC, 2014 [consulta: 7 enero 2024]. Disponible en: https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DIGITAL%20DE%20NORMAS%20CUBANAS/2014/NC%20ASTM%20D%201640%20a2014%207p%20jjn.pdf.

16. BERMÚDEZ, Á., CASTAÑO, J. y ECHEVERRÍA, F. Deterioro de recubrimientos orgánicos: Pincipales modelos y métodos de cuantificación. Ingenieria y desarrollo [en línea]. Colombia : Universidad de Antoquia, 2012, 30, 2, pp. 261-283 [consulta 23 enero 2024]. ISSN 21459371. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v30n2/v30n2a08.pdf.

17. ESCOBAR, L. y MEEKER, W. Accelerated Destructive Degradation Tests: Data, Models and Analysis. En: Statistical Science. New Jersey : Institute of Mathematical Statistics, 2006, pp. 319-337. ISBN 978-981-238-321-1.

18. ATRIA. Hidrofobicidad de materiales. ATRIA Innovation [en línea]. España, 2019 [consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: https://www.atriainnovation.com/hidrofobicidad-materiales/.

19. CASTELLAR, P., TEJADA, C., BENÍTEZ, I., VÉLEZ, J.. VILLABONA, A. Uso de poliestireno expandido reciclado para la obtención de un recubrimiento anticorrosivo. Producción+ Limpia [en línea]. SciELO : 2016, 11, 1, pp. 13-21 [consulta: 23 enero 2024]. ISSN 1909-0455. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v11n1/v11n1a02.pdf.

20. GÓMEZ, M. y RAMÍREZ, L. Reducción del poliestireno expandido utilizando solvente. Tesis de grado. Salvador: Universidad del Salvador, 2021 [consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/23603/2/REDUCCI%C3%93N%20DEL%20POLIESTIRENO%20EXPANDIDO%20UTILIZANDO%20SOLVENTE.pdf.

21. FIGUEROA, L. y PARRA, S. Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta de producción de pintura a base de poliestireno expandido y un solvente ecológico. Tesis de grado. Lima: Universidad de Lima, 2022 [consulta: 23 enero 2024]. Disponible en: https://repositorio.ulima.edu.pe/handle/20.500.12724/16323.

22. MARQUEZ, A., ALVARADO, A.. HERNÁNDEZ, A.. PÉREZ, G.. ARCE, M. Reformulation of a paint based on recycled expanded polystyrene. ATENA [online]. Sao Paulo: Ed. ATENA, 2023, 3, 30, pp. 1-10 [consulta: 23 enero 2024]. ISSN 27641317. Disponible en: https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/artigo-revista/reformulacion-de-una-pintura-a-base-de-poliestireno-expandido-reciclado.