



UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

FORMULACIÓN DE UN REVESTIMIENTO PROTECTOR PARA MADERAS A
BASE DE ACEITES VEGETALES RECICLADOS Y SÍLICE OBTENIDA DE
CASCARILLA DE ARROZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Industrial

Autores:

Andrés Antonio Pacheco Veliz
Jeraimy Alexander Rivas Moran

Tutor: Ing. Suarez Escobar Iván Eduardo PhD

Guayaquil- Ecuador
2026

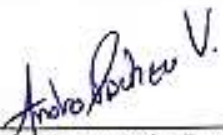
Certificado de responsabilidad y auditoria del trabajo de titulación

Nosotros, **Andrés Antonio Pacheco Veliz** con documento de identificación N° 0950501650 y **Jeraimy Alexander Rivas Morán** con documento de identificación N° 0958290983; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 09 de febrero del año 2026

Atentamente,



Andrés Antonio Pacheco Veliz

0950501650



Jeraimy Alexander Rivas Moran

0958290983

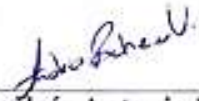
**Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la
Universidad Politécnica Salesiana**

Nosotros, **Andrés Antonio Pacheco Veliz** con documento de identificación No. **0950501650** y **Jeraimy Alexander Rivas Moran** con documento de identificación No. **0958290983** expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: Formulación de un revestimiento protector para maderas a aceites vegetales reciclados y sílice obtenida de cascarilla de arroz, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de enero del año 2026

Atentamente,



Andrés Antonio Pacheco Veliz
0950501650



Jeraimy Alexander Rivas Moran
0958290983

Certificado de Dirección del trabajo de titulación

Yo, **Iván Eduardo Suarez Escobar** con documento de identificación N° 0909748287, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **Formulación de un revestimiento protector para maderas a aceites vegetales reciclados y sílice obtenida de cascarilla de arroz**, realizado por **Jeraimy Alexander Rivas Moran** con documento de identificación N° 0958290983 y por **Andrés Antonio Pacheco Veliz** con documento de identificación N° 0950501650, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Proyecto Técnico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de enero del año 2026

Atentamente,



Ing. Iván Eduardo Suarez Escobar, PhD
0909748287

Dedicatoria y agradecimiento

Hoy agradecemos a Dios por permitirnos cumplir una meta más en nuestras vidas, por brindarnos salud y darnos la oportunidad hacer sentir orgullosos a todas nuestras familias.

A quienes han creído en nosotros en todo momento, brindándonos su apoyo y dándonos siempre ese ejemplo de superación y perseverancia para entender que en esta vida todo es posible.

De manera especial, agradecemos a nuestros padres, quienes nos han forjado por el buen camino y han sido un pilar fundamental durante todo este proceso académico y sobre todo un proceso de aprendizaje para la vida, apoyándonos incondicionalmente en cada etapa de mi formación.

Gracias a la universidad y a todos los que estuvieron en esta etapa de nuestras vidas, agradecemos a nuestros amigos, con quienes hemos compartido aprendizajes, experiencias y momentos únicos durante estos últimos años.

Gracias también a la universidad y sus profesores por sus enseñanzas compartidas en estos 4 años y nos llevamos de ustedes los mejores aprendizajes y momentos vividos en sus clases. Nuevamente gracias a Dios por permitirnos cumplir esta meta tan importante de nuestras vidas y lo más importante felicitarnos a nosotros mismos por no dejarnos vencer en aquellos días en donde el mundo se nos caía encima.

Todo este recorrido ha sido posible gracias al esfuerzo constante, la disciplina y la perseverancia, valores que hemos aprendido de cada una de las personas que nos han acompañado y que seguirán guiándonos en nuestro extenso camino, porque como bien lo expresa la frase que nos inspiramos:

"El esfuerzo constante es lo único que nunca te traiciona." — Rock Lee

Gracias a todos y Dios los bendiga.

RESUMEN

El trabajo propone un recubrimiento protector para madera, utilizando materiales residuales de alto impacto ambiental en Ecuador. Se emplea Aceite Vegetal Usado (AVU) como fase ligante y sílice de cascarilla de arroz (SiO_2) como refuerzo. Actualmente, la industria maderera utiliza barnices y pinturas con solventes petroquímicos, generando emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y residuos no biodegradables.

El proyecto incluye la filtración del AVU y la caracterización de la sílice para analizar su dispersión en el aceite reciclado. Se evaluarán distintas proporciones de refuerzo en comparación con barnices convencionales, considerando su dureza, resistencia al agua y adhesión.

Palabras claves: Aceites vegetales usados, Compuestos Orgánicos volátiles, filtración del aceite vegetal usado, recubrimiento protector de madera.

ABSTRACT

The work proposes a protective coating for wood using waste materials with a high environmental impact in Ecuador. Used Vegetable Oil (UVO) is employed as the binder phase, and rice husk silica (SiO_2) is used as the reinforcing filler. Currently, the wood industry uses varnishes and paints containing petrochemical solvents, which generate emissions of volatile organic compounds (VOCs) and non-biodegradable waste.

The project includes the filtration of UVO and the characterization of the silica in order to analyze its dispersion within the recycled oil. Different reinforcement proportions will be evaluated in comparison with conventional varnishes, considering hardness, water resistance, and adhesion.

Keywords: Used vegetable oils, Volatile Organic Compounds, Used vegetable oil filtration, Protective wood coating.

INDICE DE CONTENIDO

Certificado de responsabilidad y auditoria del trabajo de titulación	II
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana III	
Certificado de Dirección del trabajo de titulación	IV
Dedicatoria y agradecimiento	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Descripción del problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Grupo Objetivo.....	5
1.5. Objetivo General	6
1.6. Objetivo Específico	6
1.7. Delimitación	6
1.7.1. Delimitación Académica	6
1.7.2. Delimitación Espacial.....	6
1.7.3. Delimitación Temporal.....	7
CAPITULO II	8
2.1 Proceso de formulación	10
2.2 Importancia de los materiales de revestimiento	12
2.3 Tipos de revestimiento.....	12
2.4 Problemática ambiental de los compuestos petroquímicos	13
2.5 Importancia de la cascarilla de arroz para uso de revestimiento	14
2.6 Importancia del aprovechamiento de la cascarilla de arroz.....	15
2.7 Materiales compuestos del revestimiento	16
2.7.1 Fundamentos de los Materiales Compuestos en Revestimientos	17

2.7.2	Materiales compuestos sostenibles	17
2.8	Revestimiento de madera a base de la cascarilla del arroz	18
2.8.1	Propiedades físicas del revestimiento	19
2.9	Sostenibilidad y economía circular	19
2.10	Normativa y criterios técnicos aplicables	20
2.10.1	Impacto ambiental del revestimiento a base de cascarilla del arroz	20
CAPÍTULO III		21
3.1.	Investigación descriptiva y cualitativa	21
3.2.	Metodología de estudio de propuesto del proyecto	21
3.3.	Alcance de estudio.....	22
3.4.	Método y herramientas	23
3.5	Proceso de elaboración del revestimiento	24
3.5.	Planificación de la investigación	26
3.6.	Población y muestra	28
3.6.1.	Población.....	28
3.6.2.	Muestra y Muestreo	28
3.6.3.	Alcance de muestra.....	29
3.7.	Condiciones ambientales requeridas	29
3.8.	Tipo de análisis.....	31
3.9.	Relaciones de Mezcla y Concentraciones	31
3.10.	Rendimiento y Optimización de Materia Prima.....	32
3.11.	Estabilidad del Producto Formulado.....	36
CAPÍTULO IV		37
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		37
4.1.	Resultados de la formulación del recubrimiento	38
4.2.	Análisis de Rendimiento y Balance de Masas	38
4.3.	Resultados del rendimiento de calcinación de la cascarilla del arroz	39
4.4.	Resultados de tiempo de secado	39
4.5.	Evaluación ambiental del recubrimiento propuesto	40

4.6.	Resultados de contaminación	41
4.7.	Discusión de resultados	42
	CONCLUSIONES	43
	RECOMENDACIONES	44
	Bibliografía	45

INDICE DE TABLAS Y ECUACIONES

Tabla 1.	Fases de elaboración:.....	24
Tabla 2.	Condiciones ambientales recomendadas para la preparación.....	27
Tabla 3.	Calculo de muestra y muestreo.....	28
Tabla 4.	Cálculo de la temperatura ambiental recomendada.....	30
Tabla 5.	Cálculo de la humedad relativa recomendada.....	30
Tabla 6.	Condiciones ambientales durante el secado y curado	31
Tabla 7.	Calculo de masa AVU	32
Tabla 8.	Calculo de la sílice requerida.....	32
Tabla 9.	Calculo del rendimiento de calcinación	33
Tabla 10.	Calculo de Rendimiento volumétrico	34
Tabla 11.	Calculo de balance de masas	36
Tabla 12.	Calculo Rendimiento final.....	37
Tabla 13.	Resultados finales.....	38
Tabla 14.	Tiempo de secado.....	40
Tabla 15.	Comparación de emisiones de COV	41
Tabla 16.	Comparación de impacto ambiental	41

Anexos

Anexo 1.	Materiales para la elaboración del revestimiento.	48
Anexo 2.	Probetas y tamices.	48
Anexo 3.	Molino de discos usado para procesar la sílice.....	48
Anexo 4.	Proceso de filtrado de aceite.	49

Anexo 5. Pesaje de la sílice obtenida.....	49
Anexo 6. Medición volumétrica de los componentes líquidos del barniz.	49
Anexo 7. Proceso de formulación del barniz.	50
Anexo 8. Proceso de mezclado de componentes del recubrimiento.....	50
Anexo 9. Proceso de mezclado de componentes del recubrimiento por 10 minutos.	50
Anexo 10. Aplicación del recubrimiento en madera tratada previamente.....	51
Anexo 11. Proceso de secado en la madera.	51
Anexo 12. Aplicación del barniz en madera si tratar.	51
Anexo 13. Obtención de dos tipos de sílice.....	52
Anexo 14. Barniz comercial aplicado en una madera tratada.	52
Anexo 15. Comparación de ambos barnices.....	52

INTRODUCCIÓN

Mediante la tendencia actual de los acabados de diseño interior en domicilios con respecto a implementos, soportes y demás acabados de madera, especialmente en el cantón Samborondón, hemos analizado la propuesta de una formulación de un revestimiento protector a base de aceites vegetales reciclados y sílice obtenida de la cascarilla del arroz. Esta propuesta nace como mejora continua y preservación de estos diseños interiores y sobre todo para economizar gastos en los mismos.

Gracias a esta tendencia analizamos que es un mercado frecuente en el que nuestro proyecto se convierte en auto sostenible y rentable tanto por calidad, así como también en economía.

Este proyecto demuestra mejoras significativas como las antes mencionadas, pero sobre todo una mejora ambiental, contribuyendo en la incorporación e implementación de la normativa ISO 14001 que indica la conservación, preservación y mejora ambiental.

En una predicción de 5 años pronosticamos una mejora a nivel ambiental al momento de implementar este recubrimiento en maderas, así como también una mejora en los acabados que podrían llevar este recubrimiento.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El problema investigado se origina en el modelo productivo lineal y la dependencia petroquímica que históricamente ha dominado la industria maderera y de construcción en Ecuador. Históricamente, se ha llevado a cabo el acabado y la protección de la madera mediante pinturas y barnices con solventes. Estas últimas contienen resinas sintéticas que no son económicas e importadas. Esta situación genera dos problemas: por un lado, la contaminación del aire y, por el otro, los efectos sobre la salud laboral en el sector. Esto se debe a que durante el secado y la aplicación de los COV (Compuestos Orgánicos Volátiles), estos contaminan el aire (**Abera, 2021**), y la generación de residuos líquidos y sólidos no biodegradables.

Los revestimientos de protección son conjuntos claves en la cadena de valor de la madera. Además de asegurar la calidad estética y física del producto final, estos sistemas prolongan su vida útil. Esto es importante para reducir los gastos de reemplazo y mantenimiento. Sin embargo, la transición del sector enfrenta problemas por la falta de opciones locales económicas y sostenibles que ofrezcan el mismo rendimiento que los productos petroquímicos. Además, la economía ecuatoriana enfrenta desafíos administrativos con dos residuos contaminantes y voluminosos que representan una oportunidad para su valoración: el Aceite Vegetal Usado (AVU) no solo como un residuo, sino un precursor polimérico (**Erhan, S. Z. (2005). *Industrial Uses of Vegetable Oils*. AOCS Press**) y las cáscaras de arroz.

Aunque la agroindustria arrocera produce alrededor de 150.000 toneladas de residuos cada año (**Zambrano-Loor et al., 2020**), que podrían convertirse en sílice RHA, el mal manejo de la quema de cáscara de arroz contribuye a las emisiones de carbono en zonas agrícolas. A su vez, el vertido sin control del AVU contamina de manera grave las aguas y las redes de

alcanzarillado, lo que eleva los costos para el tratamiento del agua. El marco regulatorio del Ministerio del Ambiente, Agua y Transiciones Ecológicas (MAATE), como el TULAS, señala la necesidad de supervisar las emisiones industriales.

Dentro de este contexto, la valorización de residuos y la aplicación de la Economía Circular (UNAM, 2021) constituyen el camino más eficaz para garantizar que los productos finales tengan una calidad elevada con un impacto ambiental mínimo.

En estas circunstancias, se hace necesario diseñar y evaluar un recubrimiento protector para madera que emplee la sílice extraída de la cascarilla del arroz como refuerzo y el AVU acondicionado como fase ligante. Esta evolución tiene como objetivo satisfacer las exigencias técnicas de resistencia al agua, adhesión y dureza (Sankar et al., 2023), mientras resuelve un problema de desechos a gran escala. De esta manera, posibilita que las operaciones de acabado de la madera en Ecuador se desarrollen de forma eficaz y sostenible.

1.2. Descripción del problema

En Ecuador, el acelerado crecimiento en la construcción y la industria maderera, junto con la necesidad de salvaguardar la vida útil de los productos hechos con madera ante diferentes condiciones ambientales, ha revelado graves carencias en cuanto a sostenibilidad y procedencia de los insumos empleados para las coberturas protectoras.

Hoy en día, la industria sigue estancada en el uso de pinturas y recubrimientos cargados de químicos derivados del petróleo. El problema real es que estos productos no solo se quedan en la superficie; liberan constantemente gases tóxicos, conocidos como COV, que terminan dañando la calidad del aire que respiramos. Pero el impacto no acaba ahí: al ser materiales sintéticos, sus desechos son prácticamente imposibles de degradar, lo que genera un acumulamiento de basura química que contamina seriamente tanto la tierra como las fuentes de agua.

Dada la situación actual de transición hacia prácticas industriales más respetuosas con el medio ambiente, es alarmante que no exista una solución completa que posibilite renovar la formulación de recubrimientos.

La falta de opciones tecnológicas y la dependencia de productos que contienen un alto nivel de COVs dificultan que se cumplan las regulaciones medioambientales nacionales y reducen la competitividad de los productos madereros ecuatorianos en los mercados que requieren sostenibilidad.

En vista de esta realidad, se plantea una solución innovadora que tiene tres impactos (técnico, económico y ambiental): la propuesta de formulación de un revestimiento protector para madera que contenga ceniza de cáscara de arroz como refuerzo de sílice y aceite usado de cocina como base aglutinante.

La necesidad de convertir residuos en insumos para asegurar una sostenibilidad más alta, efficientizar la utilización de recursos y mejora la calidad de los productos de madera en Ecuador es el fundamento de esta investigación. El objetivo es demostrar que la creación de recubrimientos protectores para la madera que sean eficaces, asequibles y ecológicos, utilizando materiales residuales que en la actualidad representa un problema ambiental, es fundamental.

1.3. Justificación

Dentro del país existen diferentes ciudades que conforme pasa el tiempo, estas, van creciendo en población y sobre todo en infraestructuras lo cual genera un impacto significativo en la salud y medio ambiente con materiales de alta contaminación. Por esto surge la necesidad de empezar a controlar estos desechos químicos o materiales que contienen altas cantidades de sustancias químicas que perjudican el sistema y lo decidimos cambiar por la cáscara de arroz y el aceite

vegetal usado (AVU), teniendo en cuenta la problemática que se tiene por mejorar estas condiciones antes mencionadas, creando una innovación en recubrimientos.

El barniz protector para madera, como instrumento principal para la conservación y extensión de la duración del material, tiene un papel fundamental en el manejo adecuado de los activos madereros y la disminución de los gastos de mantenimiento. No obstante, la utilización mayoritaria de recubrimientos compuestos por solventes petroquímicos acarrea graves dificultades de contaminación por compuestos orgánicos volátiles (COV) y dependencia de insumos que se importan. Según Abera (2021), estos COVs tienen un efecto importante sobre la salud ocupacional, ya que inciden en el sistema respiratorio y otros órganos.

Al saber que la inclusión de estos desechos puede reemplazar elementos sintéticos, se pueden poner en marcha acciones correctivas que no solo optimicen el rendimiento ambiental del producto, sino que además posibiliten reconocer un modelo de negocio basado en la economía circular que hoy por hoy está desapareciendo. El proyecto emplea aceites vegetales reciclados, lo que permite reducir la contaminación por vertidos y sustituir parcialmente los insumos fósiles en la fabricación de recubrimientos. La sílice que se extrae de la cascarilla de arroz (SiO_2) también ofrece dureza, resistencia al desgaste y una protección eficaz contra el agua.

1.4. Grupo Objetivo

El grupo a quien beneficiará este proyecto se divide en la cadena de valor de residuos y la industria maderera ecuatoriana. Las ventajas directas comprenden a los productos de cáscara de arroz (la agroindustria molinera) y los lugares donde se recolecta el Aceite Vegetal Usado (AVU), ya que el proyecto les brinda un camino para valorizar sus residuos, convirtiendo un pasivo medioambiental en un insumo provechoso. Los usuarios beneficiarios son los fabricantes de muebles y las empresas madereras, que consiguen una opción de recubrimiento local con bajo COV y alto rendimiento (mejorado en términos de dureza y resistencia gracias

a la sílice SiO₂).

1.5. Objetivo General

- Formular un revestimiento protector para maderas a base de aceites vegetales reciclados y sílice obtenida de cascarilla de arroz.

1.6. Objetivo Específico

- Acondicionar y filtrar el Aceite Vegetal Usado (AVU) mediante filtración y tratamientos térmicos/químicos para reducir impurezas, humedad y acidez.
- Proponer la formulación del recubrimiento protector ecológico mediante la dispersión de la sílice.
- Comparación entre un barniz convencional y el ecológico propuesto para mejor desarrollo.

1.7. Delimitación

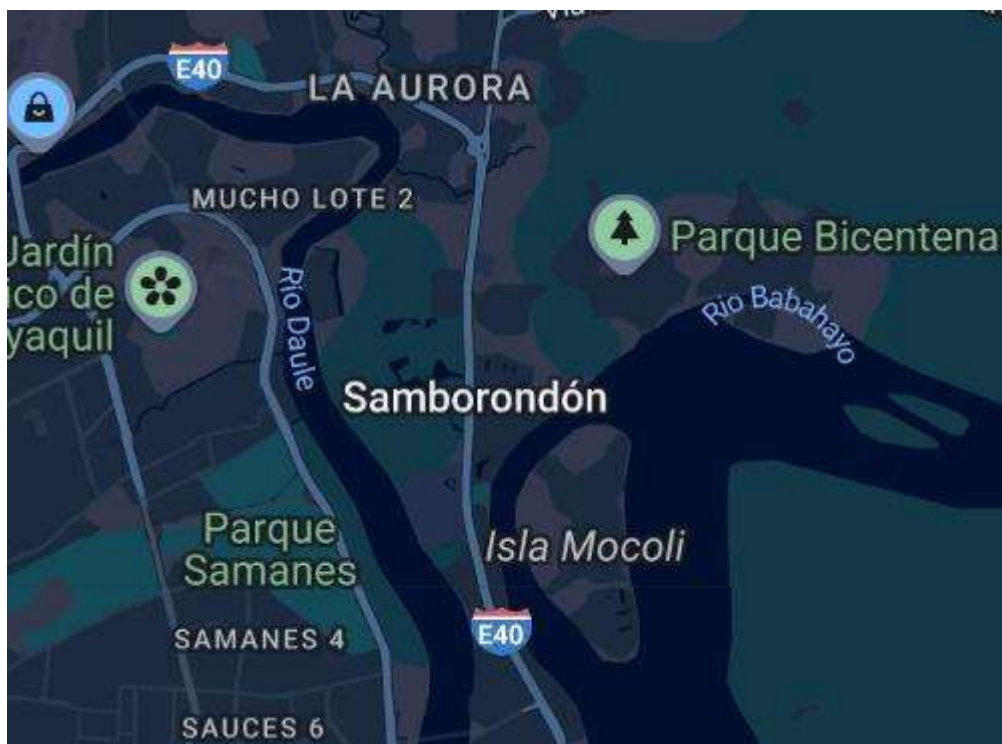
1.7.1. Delimitación Académica

Este proyecto técnico presenta una significativa mejora en el sistema de recubrimiento protector de maderas, técnicamente conocido como Barniz. Nuestro barniz demuestra que, los materiales reciclados pueden tener otra vida útil, por ende, decidimos que los aceites vegetales y sílice de la cascarilla del arroz nos sirva como elementos que nos permita elaborar un barniz ecológicamente ambiental, contribuyendo al cuidado del medio ambiente, resistencia y calidad en comparación a un barniz convencional y sobre todo a una gran diferencia de precio, lo que lo hace a nuestro proyecto mucho más asequible para el mercado.

1.7.2. Delimitación Espacial

En esta investigación nos basamos en un estudio realizado en la provincia del Guayas específicamente en el cantón Samborondón, debido a la alta tasa de utilización de productos de

madera para arreglos de las diferentes viviendas de urbanizaciones de dicho sector.



Fuente: Google Maps, fecha de consulta, 2025

1.7.3. Delimitación Temporal

El presente proyecto se llevará a cabo en un periodo de 3 meses comprendido desde mediados del mes de noviembre del año 2025 hasta finales del mes de enero del año 2026.

Durante este tiempo manejaremos una planificación con varias fases que consisten en: Procesamiento y purificación de aceites vegetales, obtención del la sílice de la cascarilla de arroz, formulación de recubrimiento y pruebas preliminares y exposición del proyecto.

En este proceso iremos implementando mejoras con herramientas de ingeniería industrial, evaluación de condiciones climáticas y económicas del mercado.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

El presente proyecto se fundamenta en el desarrollo de un recubrimiento protector para madera elaborado a partir de recursos renovables y residuos agroindustriales disponibles en el contexto ecuatoriano. La investigación se fundamenta en la necesidad de proponer alternativas sostenibles a los recubrimientos convencionales, los cuales suelen contener compuestos orgánicos volátiles y aditivos de origen petroquímico que generan impactos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente.

La formulación del revestimiento propuesto se basa en la utilización de aceites vegetales residuales como matriz ligante, aprovechando su capacidad de polimerizar mediante un proceso de curado oxidativo y formar una película protectora continua sobre la superficie de la madera. Este mecanismo permite la adherencia del revestimiento al sustrato y contribuye a la protección frente a la humedad y agentes externos, sin recurrir a solventes petroquímicos de alta toxicidad.

La incorporación de sílice obtenida a partir de la cascarilla de arroz se plantea como un componente clave en la formulación del revestimiento, ya que actúa como refuerzo inorgánico dentro de la matriz oleosa. La presencia de estas partículas favorece el aumento de la resistencia superficial, la reducción de la permeabilidad al agua y la mejora de la estabilidad dimensional del recubrimiento aplicado sobre la madera, aspectos fundamentales para prolongar la vida útil del material. Este enfoque permite integrar materiales de origen local y residuos agroindustriales en una solución técnicamente viable y ambientalmente sostenible para la protección de superficies de madera

En el contexto ecuatoriano, la disponibilidad de la cascarilla de arroz representa una gran oportunidad estratégica en la obtención de sílice de bajo costo. El país es uno de los principales

productores de arroz de la región, concentrando su producción principalmente en las provincias de Manabí, Guayas y los Ríos. Durante el proceso de pilado del arroz, la cascarilla constituye aproximadamente entre el 20 % y 22 % del peso del grano, generando grandes volúmenes de residuo que, en su mayoría, son subutilizados o eliminados mediante quema, ocasionando impactos ambientales negativos **(Rengifo et al., 2018)**. La valorización de este subproducto como fuente de sílice permite no solo reducir la carga ambiental asociada a su disposición final, sino también incorporar un refuerzo funcional en recubrimientos sostenibles para la protección de la madera.

De esta manera, el marco teórico de la presente investigación integra los fundamentos científicos relacionados con la formulación de recubrimientos oleosos reforzados, así como el aprovechamiento de residuos agroindustriales locales, ajustándose en los principios de un desarrollo sostenible y economía circular aplicables al sector maderero ecuatoriano.

Por otro lado, el proceso de curado se fundamenta en el curado oxidativo de aceites secantes modificados (como los de linaza, soya o girasol), que forman una película polimérica a través de la auto oxidación y el entrecruzamiento de sus dobles enlaces. Se incorpora sílice extraída de la cascarilla del arroz para optimizar las propiedades mecánicas, ya que funciona como un refuerzo inorgánico. Esta sílice, que se puede adquirir mediante procedimientos térmicos (calcinación) o por medio de métodos químicos, mejora la dureza, la resistencia a los rasguños y el desempeño barrera del recubrimiento, "La valorización de la cascarilla de arroz mediante calcinación controlada representa una reducción de hasta el 70% en la denominada Huella de Carbono en comparación con la producción de sílice sintética por métodos térmicos convencionales" **(Della, V. P., Kuhn, I., & Hotza, D. (2002))**.

El uso de partículas nano o micrométricas bien distribuidas permite disminuir la permeabilidad al agua y aumentar la estabilidad dimensional de la madera. Se pueden emplear agentes de acoplamiento como los silanos (por ejemplo, APTES o GLYMO) para garantizar que el aceite

orgánico y la sílice inorgánica sean compatibles. Este método, que consiste en mezclar aceites polimerizarles con sílice de bajo precio, posibilita la obtención de un recubrimiento con propiedades mejoradas, al utilizar recursos locales y minimizar el impacto negativo sobre el medio ambiente. **(Ministerio del Ambiente, 2021).**

Además, la formulación de este recubrimiento ecológico permite reducir de manera significativa la dependencia de solventes petroquímicos, ya que el propio aceite vegetal residual actúa como medio dispersante y ligante, favoreciendo la formación de películas continuas sobre la superficie de la madera. Este comportamiento no solo disminuye la emisión de compuestos orgánicos volátiles durante la aplicación y el secado, sino que también mejora la adherencia del recubrimiento al sustrato, creando una capa protectora más homogénea frente a la humedad, los agentes biológicos y la degradación fotoquímica. De esta forma, se promueve una alternativa técnicamente viable para la protección de la madera en aplicaciones interiores y exteriores de baja y media exigencia. **(Ministerio del Ambiente, 2021)**

Finalmente, el aprovechamiento de residuos como el aceite vegetal usado y la cascarilla de arroz se alinean con los principios de economía circular, al reincorporar materiales de desecho en cadenas productivas de mayor valor agregado. Este enfoque contribuye a la disminución de la carga ambiental generada por estos residuos, que en condiciones normales son descartados inadecuadamente, contaminando suelos y cuerpos de agua. Así, el desarrollo de recubrimientos sostenibles basados en recursos locales no solo fortalece la industria maderera desde una perspectiva técnica, sino que también genera impactos positivos en la gestión ambiental

2.1 Proceso de formulación

Para la formulación del recubrimiento protector que utiliza sílice de cascarilla de arroz y aceites vegetales reciclados, se utilizaron materias primas comerciales y residuales, escogidas debido a su accesibilidad, bajo impacto ecológico y propiedades funcionales. La técnica utilizada se

basa en experiencias anteriores que han sido documentadas en la literatura científica y están vinculadas con la incorporación de la cascarilla de arroz, así como con la elaboración de materiales compuestos y recubrimientos protectores.

Los materiales que fueron empleados para la formulación del revestimiento:

- Aceite vegetal usado (AVU), que se obtiene de los lugares en los que se preparan alimentos y que ha pasado por un proceso de filtrado para sacar las impurezas sólidas.
- Cáscara de arroz, procedente de los molinos que procesan arroces locales, empleada como insumo para la producción de sílice.
- Agua destilada, utilizada en procedimientos de limpieza y de tratamiento térmico.

El proceso general de formulación del revestimiento propuesto se estructura en etapas secuenciales que garantizan la funcionalidad, estabilidad y desempeño del material final. En primer lugar, se realiza la selección y acondicionamiento de la matriz ligante, constituida por aceite vegetal residual, el cual es sometido a procesos de filtración y tratamiento térmico para eliminar impurezas, humedad y compuestos indeseables que puedan afectar el curado y la adherencia del recubrimiento. Este paso es fundamental para asegurar una correcta polimerización oxidativa y la formación de una película continua sobre la madera.

Posteriormente, se incorpora el material de refuerzo inorgánico, correspondiente a la sílice obtenida a partir de la cascarilla de arroz, la cual se adiciona de manera gradual bajo condiciones de agitación controlada con el fin de lograr una dispersión homogénea dentro de la matriz oleosa. Una distribución adecuada de las partículas de sílice permite mejora las propiedades mecánicas, la resistencia al desgaste y el comportamiento barrera del revestimiento frente a la humedad. Finalmente, el sistema formulado es aplicado sobre la superficie de la madera y sometido a un proceso de curado oxidativo en condiciones ambientales, dando lugar a un recubrimiento protector sostenible, alineado con los principios de economía circular y producción más limpia (**Callister & Rethwisch, 2018; Della et al.,**

2002).

2.2 Importancia de los materiales de revestimiento

Los recubrimientos superficiales representan la primera barrera defensiva de los sustratos frente a la degradación ambiental, donde la durabilidad y estabilidad del acabado dependen intrínsecamente de su formulación química. En el caso de los barnices, la selección sinérgica de resinas, solventes y aditivos trasciende el valor estético, constituyéndose como el factor crítico que determina la resiliencia del sistema ante agentes estresores como la radiación ultravioleta (UV), la higroscopicidad y las fluctuaciones termo mecánicas (**Nikolic et al., 2015**).

La resina, definida como el ligante o matriz del sistema, es el componente responsable de la formación de una película cohesiva sobre la madera. Según García López y Armiñana Tormo (2011), las resinas sintéticas —particularmente los poliuretanos y acrílicos— exhiben una superior resistencia a la abrasión y una mayor estabilidad fotoquímica en comparación con las resinas naturales. Mientras que las primeras son idóneas para entornos de alta exigencia climática, las resinas de origen biológico, aunque estéticamente valoradas, presentan una susceptibilidad elevada a la degradación térmica y la penetración de humedad.

Complementariamente, el sistema de solventes desempeña una función reológica fundamental. Estos compuestos no solo regulan la viscosidad para facilitar la aplicación, sino que controlan la cinética de evaporación, factor que incide directamente en la nivelación del barniz y en la prevención de patologías superficiales

2.3 Tipos de revestimiento

La aplicación de revestimientos sobre superficies de madera responde a múltiples necesidades técnicas y ambientales, ya que estos sistemas actúan como barreras protectoras frente a la

humedad, la radiación solar, los cambios climáticos y la degradación biológica, factores que inciden directamente en la durabilidad y el mantenimiento de este material en condiciones reales de servicio. Al proteger la madera de agentes externos, el revestimiento extiende su vida útil, mejora su comportamiento frente a condiciones adversas y aumenta la eficiencia energética de los espacios, aspectos vitales para garantizar la funcionabilidad de las construcciones y la calidad del producto.

Los barnices o recubrimientos más comunes son los siguientes:

Barniz a base de solventes: Este es el más utilizado por su alta resistencia mecánica y durabilidad, se encuentra elaborado por resinas sintéticas y disolventes lo que genera emisiones de COV.

Selladores: Es un recubrimiento que prepara al material reduciendo sus niveles de porosidad y mejorando el acabado final.

Lacas: Produce un secado rápido con acabado brillantes, es usado principalmente para muebles.

Además, en el contexto ecuatoriano, el impulso hacia materiales y soluciones constructivas sostenibles ha fomentado la exploración de alternativas innovadoras que permitan aprovechar residuos y subproductos industriales como insumos para recubrimientos. Esta tendencia no solo responde a una necesidad de protección funcional de la madera, sino también a la generación de materiales con menor impacto ambiental en línea con los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenibles)

2.4 Problemática ambiental de los compuestos petroquímicos

Los compuestos petroquímicos derivados de gas natural, fertilizantes, combustibles, solventes entre otros afectan directa e indirectamente al ser vivo debido a su nivel de toxicidad perjudicial para el medio ambiente y salud humana.

- El aire contaminado es uno de los afectados debido a los compuestos petroquímicos usados en diversas empresas dedicadas a la fabricación o elaboración de este material como lo es el barniz, mediante las emisiones de gases tóxicos y el aumento del efecto invernadero son los consecuentes y factores que afectan el aire.
- La contaminación del suelo mediante la filtración de hidrocarburos que reducen la fertilidad del suelo
- El impacto en la salud humana es una de las más importantes dentro de estas problemáticas debido a que el compuesto común de estos barnices convencional es altamente tóxicos y perjudiciales para quien está expuesto durante largas jornadas a estos gases que desprenden.

Ante este escenario, resulta fundamental fomentar opciones de aprovechamiento y valorización de los excedentes agroindustriales, con el objetivo de reinsertarlos en las cadenas de valor mediante procesos de simbiosis industrial. La utilización de estos residuos como precursores o insumos para la creación de materiales de construcción sostenibles —como barnices de base biológica o agregados cementicos— representa una estrategia factible para minimizar el impacto ambiental y estimular modelos de economía circular. Esta transición permite reducir la dependencia de los recursos no renovables, alineándose estrictamente con los principios globales del desarrollo sostenible.

2.5 Importancia de la cascarilla de arroz para uso de revestimiento

La cascarilla de arroz es un subproducto agroindustrial que se produce en grandes cantidades a lo largo del proceso de pilado del arroz, constituyendo cerca del 20 al 25 % del peso total de dicho grano. En la mayor parte de los casos, este subproducto no es tratado apropiadamente y se gestiona a través de acumulación o incineración, lo cual tiene efectos negativos sobre el medioambiente. Desde la perspectiva industrial y medioambiental, su utilización como un

recurso alternativo permite disminuir la carga de contaminación y mejorar el empleo de recursos en los procesos de producción.

La cascarilla de arroz se puede convertir en ceniza de cascarilla de arroz (RHA) a través de procedimientos controlados de combustión, los cuales poseen un alto contenido de sílice. Esta sílice tiene características que la hacen idónea para ser incorporada en recubrimientos, pues ayuda a incrementar la resistencia mecánica, la estabilidad térmica y la longevidad del material final.

En el caso concreto de los recubrimientos aplicados sobre madera, la sílice que proviene de la cáscara de arroz funciona como un elemento de refuerzo que optimiza el rendimiento del revestimiento cuando se enfrenta a condiciones climáticas adversas. Su composición granular fina y su estructura porosa contribuyen a una mejor adherencia en la superficie de la madera, lo que genera una capa de protección más estable y uniforme. Esto facilita que la absorción de humedad disminuya, que el desgaste superficial se reduzca y que la duración del material se extienda.

Por último, la aplicación de cascarilla de arroz en recubrimientos para madera es una opción que tiene viabilidad técnica y medioambientalmente, y está de la mano con los principios de producción más limpia y economía circular. No solo optimiza el desempeño funcional del recubrimiento, sino que además ayuda a disminuir los desechos y reemplazar parcialmente los materiales de origen no renovable en la valorización de este residuo agroindustrial. Esto a su vez robustece la sostenibilidad del sistema de construcción sugerido.

2.6 Importancia del aprovechamiento de la cascarilla de arroz

La utilización de la cascarilla de arroz es una opción importante para abordar los problemas ambientales vinculados a su inadecuada eliminación, incluyendo la quema o el almacenamiento al aire libre. Estas prácticas contaminan el agua, aire y tierra, al tiempo que despilfarran un residuo que se genera en cantidades considerables. Su valoración, desde un punto de vista

ambiental, ayuda a disminuir los efectos negativos y a administrar de manera más eficaz los desechos agroindustriales.

La cascarilla de arroz tiene un alto potencial como materia prima alternativa desde el sector industrial, gracias a sus propiedades útiles y a su disponibilidad continua. Al incluirlos en procesos productivos, como la creación de recubrimientos, se posibilita una mejora en el empleo de recursos, se disminuye la dependencia de materiales tradicionales y se produce valor añadido a lo largo de la cadena productiva, fomentando prácticas de producción más limpias.

La cascarilla de arroz se emplea en el sector de la construcción para fomentar materiales más sustentables, ya que posibilita reemplazar parcialmente insumos convencionales por elementos provenientes de desechos. La presente estrategia se encuentra enlazada con los principios de la sostenibilidad y la economía circular, lo que robustece la economía, la factibilidad y ambiente de soluciones creativas, como los recubrimientos para madera que se sugieren en el trabajo de titulación actual.

2.7 Materiales compuestos del revestimiento

El revestimiento que se ha desarrollado en el trabajo de titulación actual es un compuesto que resulta de la mezcla de una matriz ligante residual y un material mineral reforzado. La matriz está compuesta por aceite vegetal reciclado, que sirve de agente aglutinante y posibilita que el revestimiento se adhiere a la superficie de la madera. Por otro lado, el componente reforzador está formado por sílice extraída de la cascarilla del arroz. La combinación de los dos componentes resulta en un material con propiedades mejoradas en comparación con las de cada uno de ellos por separado.

Mejorar el rendimiento del recubrimiento, aumentar su estabilidad ante la humedad y su resistencia al desgaste, así como prolongar su vida útil en condiciones ambientales cambiantes, es posible mediante la inclusión de sílice que provenga de la cascarilla de arroz en la matriz de

aceite vegetal usado. Desde una perspectiva industrial y ecológica, este material compuesto posibilita que se valoricen los desechos agroindustriales y que disminuya el empleo de insumos convencionales de procedencia petroquímica; así, se establece como una opción técnica y sostenible para proteger las superficies de madera.

2.7.1 Fundamentos de los Materiales Compuestos en Revestimientos

Se conoce como materiales compuestos a los que se obtienen de la combinación sinérgica de dos o más fases que son físicamente diferentes: el refuerzo y la matriz (**Callister & Rethwisch, 2018**). Esta combinación posibilita lograr un rendimiento técnico más alto que el de sus constituyentes de manera individual. La fase continua que se encarga de la adhesión química al sustrato, de la transferencia de esfuerzos mecánicos y de la cohesión estructural es la matriz en el desarrollo de recubrimientos. Además, en los sistemas de protección superficial, la matriz actúa como una barrera contra la humedad y agentes biológicos, lo que define su resistencia a la degradación medioambiental.

El material de refuerzo, por otro lado, es la etapa discontinua cuyo propósito principal es mejorar las características físicas, mecánicas y duraderas del sistema. El refuerzo mejora la resistencia al desgaste, la dureza y la estabilidad dimensional del material final de acuerdo a su morfología (escamas, fibras o partículas). La interfase entre los dos componentes determina la efectividad de esta transferencia de propiedades; si existe una compatibilidad fisicoquímica apropiada, el revestimiento será homogéneo y su capacidad de protección alcanzará su máximo.

2.7.2 Materiales compuestos sostenibles

La composición de este recubrimiento se basa en la interacción sinérgica entre una matriz aglutinante de aceite vegetal residual y la sílice derivada de las cáscaras de arroz (SCA) como fase reforzadora. El aceite vegetal proporciona las características filmógenas fundamentales en

este sistema: continuidad estructural, flexibilidad y una notable habilidad de anclaje micro mecánica en la porosidad de la madera. Por su parte, la sílice funciona como un agente de refuerzo particulado que endurece la matriz, lo que mejora la estabilidad estructural del material y reduce los procesos de deformación y deterioro superficial por abrasión (**Karmakar et al., 2022**).

Desde el ámbito fisicoquímico, la morfología de la sílice es lo que determina si el compuesto es eficaz o no. La estructura porosa y la gran superficie específica favorecen una integración a fondo en la matriz oleosa, lo que permite que el refuerzo se disperse de manera uniforme. Esta interacción mejora la cohesión interna del recubrimiento, ya que hace posible una película protectora uniforme que funciona como un eficaz obstáculo contra la absorción de humedad y los cambios de temperatura ambiental (**Della et al., 2002**).

Por último, esta convergencia de materiales posibilita que se obtenga un revestimiento con características técnicas por encima de las de sus elementos individuales, alcanzando una armonía entre la hidrofobicidad y la resistencia mecánica. El sistema, al utilizar subproductos agroindustriales, no solo brinda una solución técnica de alto rendimiento; además se establece como una opción bioplástica sostenible en comparación con los revestimientos tradicionales de origen petroquímico. La investigación, de esta manera, se ajusta a los fundamentos de la producción limpia y la economía circular al convertir desechos en materiales que aportan valor para la conservación de sustratos celulósicos.

2.8 Revestimiento de madera a base de la cascarilla del arroz

La reutilización de productos agroindustriales, como la cascarilla de arroz, facilita una opción factible a comparación de los barnices convencionales compuestos de químicos con alto daño en el ambiente y salud. La cascarilla del arroz, una vez pase por procesos supervisados de calcinación, permitirá la obtención de sílice con máximo potencial como material de refuerzos

orgánicos, tales como los AVU. Diferentes investigaciones señalan que la sílice derivada de ceniza de la cascarilla del arroz ayuda significativamente las propiedades mecánicas y químicas de los recubrimientos, especialmente en términos antes mencionados, pero sobre todo frente a agentes medioambientales como agua, humedad y sol (**Hezma et al., 2016**).

2.8.1 Propiedades físicas del revestimiento

Exponiendo las propiedades físicas de este proyecto y su procesamiento, nos damos cuenta que la calidad de la sílice mediante una correcta calcinación de la cascarilla de arroz y el nivel de polimerización del AVU. Damos a conocer algunas propiedades principales en la que se observa una mayor resistencia en cuanto a la permeabilidad de H₂O, el crecimiento de la prolongación de la madera y una mejor visualización y acabo del mismo.

La estancia de pequeñas partículas ya encontradas naturalmente en la sílice hace que esta sea mucho más resistente, lo que contribuye a disminuir factores de soplamiento y succión del sustrato. Así mismo, gracias a los compuestos naturales de este proyecto, permitirá observar un acabo más estético y agradable para el cliente y el ambiente en comparación con recubrimientos tradicionales.

2.9 Sostenibilidad y economía circular

Mediante este proyecto hemos tomado en cuenta y resaltado la importancia de la sostenibilidad y sustentabilidad económica, al promover la reutilización de residuos y darle una segunda vida para el uso en el mercado. Este enfoque permite concientizar sobre la manipulación errónea con recursos naturales que acaban perjudicando al medio ambiente y la salud.

Desde ese punto de vista, el apalancarse de estos residuos existentes permite la utilización de materiales, disminución de emisiones perjudiciales y proyectar modelos productivos más éticos con el ambiente, alineados con las políticas ambientales vigentes en Ecuador.

2.10 Normativa y criterios técnicos aplicables

Mediante la formulación de un revestimiento ecológico para madera hemos considerado el cumplimiento de normativas técnicas y ambientales. En el Ecuador, el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA) presenta lineamientos claves para el control de emisiones y manejo de residuos (**TULSMA, 2015**).

Así mismo, tenemos en cuenta las normas internacionales como la ISO 14001 abarca el concepto de conservaciones ambientales industriales, que a su vez demostramos con el proyecto la resistencia al agua y durabilidad, los cuales deben ser considerados en la evaluación de indicadores de desempeño para el revestimiento propuesto.

2.10.1 Impacto ambiental del revestimiento a base de cascarilla del arroz

El impacto medio ambiental de este proyecto muestra índices significativamente mejoradas en comparación con los recubrimientos convencionales. La disminución de emisiones de COV y el control en los compuestos altamente contaminantes de aires, suelos y agua, es un paso agigantado en la mejora continua dentro de este mercado.

Además, la conservación de la cascarilla de arroz permite disminuir los desechos de este material para un mejor uso, reduciendo las emisiones de gases y vapores en efecto invernadero. Particular, presenciamos como este proyecto mejorara el mercado y la industria maderera y de ebanistería, generando no tan solo empleo sino más bien aprovechando los recursos naturales para darles una segunda vida contribuyendo al medio ambiente y salud.

CAPÍTULO III

MARCO METEODOLÒGICO

La investigación presente se basa en un enfoque descriptivo, con algunos componentes cualitativos. Se analiza e investiga proporciones de mezcla, resistencia del material, resistencia al ambiente y humedad (**Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018**). Gracias a esto nos permite evaluar y analizar el desempeño técnico y descriptivo de nuestro barniz ecológico.

3.1. Investigación descriptiva y cualitativa

Esta propuesta de estudio tiene como base una investigación descriptiva y cualitativa ya que se sostiene de los principales objetivos como son: Observar, Evaluar y Recolectar el máximo de información posible para que nos permita explicar las características más detalladas acerca de nuestro tema.

Como bien sabemos este material (Barniz) es altamente demandado en la actualidad y si bien es cierto con el pasar de los años ha sido visible una mejora continua por parte de quienes proveen los barnices convencional, también hay ciertos aspectos que resulta muy difícil conllevar y tratar de disminuir ya sea porque los elementos que lo conforman es necesario para su calidad o porque las fábricas que elaboran el barniz no ha encontrado un método factible y eficiente con los puntos que estamos tomando en cuenta, el ambiente, salud y calidad.

Analizando todos los aspectos podemos concluir que este tema proyecta una innovación en el mercado, pero sobre todo una mayor aplicación de las normas ISO del medio ambiente y salud en el trabajo.

3.2. Metodología de estudio de propuesto del proyecto

Utilizamos una metodología basada en un enfoque sistemático. Inicialmente se analizó las causas del problema y definiendo soluciones de variables dependientes e independientes.

Posterior a eso se procede a realizar el tratamiento de materias primas y una evaluación de desempeño. Finalmente se analizará los resultados obtenidos mediante criterios comparativos y técnicos.

Este estudio abarca la propuesta de formulación de un barniz ecológico a base de sílice la cascarilla del arroz y como refuerzo, aceite vegetal usado que sirve como capa protectora para maderas, además de un acabado más estético para el material. Este estudio tiene un alcance en las zonas residenciales del cantón de Samborondón, el cual hemos analizado el estado y tendencia actual en el que se aplica un barniz convencional debido a la alta demanda de arreglos y diseños de muebles, puertas, estanterías y demás materiales que necesitan un barniz como recubrimiento, por esto, analizamos la propuesta de la formulación del barniz ecológico antes mencionado que nos genera múltiples beneficios tanto a nivel económico como a nivel ambiental.

3.3. Alcance de estudio

Si bien es cierto, los barnices convencionales contienen un excelente acabado y calidad para su función, debemos de tomar en cuenta que se usan diversos componentes químicos que podrían ser perjudiciales para la salud sobre todo para el trabajador que aplica este recubrimiento en los materiales de madera. Este barniz propuesto intenta reducir la forma en cómo se aplica usualmente los componentes químicos que conlleva la preparación de uno convencional, así mismo prevé la conservación ambiental y salud del trabajador, generando así un impacto positivo y aplicando las normativas **ISO 14001 (2015)**, **ISO 45001 (2018)** e **ISO 9001 (2015)**. La implementación se delimita dentro del área geográfica del cantón Samborondón como ubicación en la cual sirvió como fines de investigación de nuestro proyecto, más sin embargo es un proyecto que no tan solo se delimita a un sector en específico si no más tiene una alta probabilidad de que pueda existir una expansión de uso del barniz ecológico, ya que, un 90%

de la población usa este material para acabados de diseños y arreglos de madera (INEC, 2020).

3.4. Método y herramientas

El método aplicado en nuestra investigación se dirige hacia la propuesta de formulación y evaluación de un recubrimiento protector ecológico. Se implementó diversas herramientas industriales como son análisis de procesos, diagramas de flujos, balance de materia y control de los procesos **Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014)**. Además, se utilizará instrumentos de medición como balanza analítica, hornos para calcinación, termómetros y equipos de ensayos de laboratorio. A continuación, especificaremos cada una de ellas:

- **Análisis de proceso:** Este punto es muy importante para determinar los llamados cuello de botella, la cual no puede presentar retrasos o problemas en algún proceso que se realice para la elaboración del proyecto optimizando el lead time de producción.
- **Diagramas de flujo:** Mediante diagramas como el Ishikawa o gráficos determinaremos y analizaremos las mejoras, errores y diferencias de nuestro barniz a comparación de uno convencional, bajo la metodología de Gestión de la Calidad (**Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley**).
- **Balance de costos de materiales:** Es de suma importancia que saquemos un balance económico de nuestro barniz a diferenciación del convencional para cuantificar el rendimiento de la mezcla de la sílice y el AVU (**Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (2014). *Principios elementales de los procesos químicos*. Limusa Wiley**).
- **Control de procesos:** Proceso clave para verificar que cada etapa de creación sea evaluada y controlada de manera oportuna y fortuita para evitar errores e inconvenientes que afecten la calidad y elaboración del producto. Entre estos procesos están la recolección de materia prima, calcinación y obtención del sílice mediante la cascarilla de arroz, obtención y filtración de los aceites vegetales usados, mezcla homogénea de

ambos compuestos, para finalmente pasar por el proceso de aplicación, secado y curado del revestimiento y proceder a realizar pruebas de evaluación.

3.5 Proceso de elaboración del revestimiento

Esta formulación consistirá en una planificación por fases, empezando desde la fase 1 (inicial) hasta la fase 8 (resultados)

Tabla 1. Fases de elaboración:

FASE 1: Recolección de materia prima

Actividad	Descripción	Responsable
Recolección de AVU	Obtención de aceite vegetal usado proveniente de cocinas y restaurantes	Investigador
Recolección de cascarilla de arroz	Obtención desde molinos arroceros locales	Investigador
Selección	Eliminación de residuos no aptos	Investigador

FASE 2: Acondicionamiento del aceite vegetal (AVU)

Actividad	Descripción	Parámetros de control	Actividad
Filtración primaria	Retiro de partículas sólidas gruesas	Tamiz de 3mm	Filtración primaria
Filtración fina	Eliminación de impurezas menores	Tamiz de 2mm y 0.7mm	Filtración fina
Enfriamiento controlado	Estabilización del aceite	Ambiente (20–30 °C)	Enfriamiento controlado

FASE 3: Obtención del sílice de la cascarilla del arroz

Actividad	Descripción	Parámetros
Secado	Eliminación de humedad superficial	40–75 °C
Calcinación	Obtención de ceniza rica en sílice	75–160 °C
Molienda	homogeneización del tamaño de partícula	Partícula en micras

FASE 4: Inspección de las materias primas

Ensayo	Objetivo
Inspección del AVU	Confirmar ausencia de impurezas
Pruebas de dispersión	Evaluar compatibilidad aceite-sílice

FASE 5: Formulación del revestimiento propuesto

Actividad	Descripción	Parámetros
Definición de proporciones	Elegir proporciones adecuadas de cada materia	AVU: 80-90% SILICE: 10-20%
Mezclado del aceite y sílice	Homogeneización de las materias	Entre 30-45 minutos
Control de temperaturas	Para mejora de la dispersión	30-50 °C
Preparación de muestras	Para comparación	Mejor consistencia

FASE 6: Aplicación del revestimiento

Actividad	Descripción
Preparación de la madera	Limpieza y lijado
Aplicación	Brocha
Espesor controlado	Capa uniforme

FASE 7: Secado y curado

Parámetro	Condición
Temperatura	20-30 °C
Humedad relativa	40-60 %
Ventilación	Moderada
Tipo de curado	Oxidativo natural

FASE 8: Evaluación de resultados

Ensayo	Propósito
Adherencia	Verificar anclaje a la madera
Dureza superficial	Comparación con barniz convencional
Acabado visual	Evaluación estética

El primer paso para la elaboración empieza con la recolección materias primas como lo es el AVU y la cascarilla del arroz, luego pasa por un proceso de selección, eliminado los residuos no aptos para el proceso. Posterior a esto iniciamos con el acondicionamiento del AVU,

pasando por procesos de filtración y adaptación térmica al ambiente, para después obtener la sílice de la cascarilla de arroz y continuar con el siguiente paso que es la mezcla homogénea de estos compuestos. Una vez este mezclado iniciaremos pruebas preliminares aplicando el revestimiento en maderas y pasando por otro proceso de secado y curado del mismo para su última verificación final para constatar que cumpla con lo requerido en este proyecto.

3.5. Planificación de la investigación

La planificación del presente trabajo de titulación se articuló con el propósito de garantizar el cumplimiento sistemático de los objetivos orientados al diseño y evaluación de un recubrimiento ecológico para sustratos madereros, fundamentado en la valorización de residuos agroindustriales: aceite vegetal usado y sílice obtenida de la cascarilla de arroz. Para ello, se estableció una secuencia lógica de fases que permitieron la integración de dimensiones técnicas, ambientales y experimentales.

A. Fase de Fundamentación y Diseño Metodológico

En la etapa inicial, se desarrolló una revisión bibliográfica concerniente a los recubrimientos poliméricos, materiales compuestos y el aprovechamiento de biomasa residual. Este proceso no solo otorgó el sustento teórico necesario para la investigación, sino que permitió la identificación de los parámetros fisicoquímicos requeridos para la formulación del producto. En estrecha relación, se estructuró el diseño metodológico, definiendo las variables de estudio, los criterios de evaluación y las técnicas analíticas pertinentes para la validación de la hipótesis.

B. Gestión y Acondicionamiento de Materias Primas

Posteriormente, se procedió a la planificación de la logística de recolección y tratamiento de los precursores. Se establecieron protocolos específicos para el acondicionamiento del aceite vegetal usado y la cascarilla de arroz, integrando procesos de:

- Filtrado y purificación (para la fase lipídica).

- Secado y calcinación controlada (para la obtención de sílice de alta pureza).

Estas operaciones garantizaron que las materias primas presentaran las propiedades óptimas para su posterior integración en la matriz del recubrimiento.

C. Fase Experimental y Evaluación de Propiedades

Finalmente, la investigación se rigió bajo un cronograma de ejecución orientado a la formulación experimental del revestimiento y su aplicación sobre probetas de madera seleccionadas. Esta fase contempló la evaluación rigurosa de propiedades críticas, tales como la adherencia, la hidrofobicidad (resistencia a la humedad) y el comportamiento superficial. La planificación estratégica de estas actividades permitió la optimización de los recursos disponibles y aseguró la trazabilidad y en relación con los objetivos planteados y los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto.

Tabla 2. Condiciones ambientales recomendadas para la preparación

Parámetro	Rango recomendado	
Temperatura ambiente	20 – 30 °C	Este rango permite una adecuada viscosidad del aceite vegetal usado y una correcta dispersión de la sílice, evitando la solidificación del ligante o una excesiva fluidez.
Humedad relativa	50 – 70 %	Valores moderados de humedad reducen la posibilidad de absorción de humedad por parte de la madera y evitan interferencias en la formación inicial de la película.
Ventilación	Moderada	Favorece la estabilidad térmica del sistema y previene acumulación de vapores durante la preparación del recubrimiento.

3.6. Población y muestra

3.6.1. Población

La población de estudio se definió bajo un enfoque sistémico, comprendiendo el conjunto de recubrimientos protectores para madera aplicados en la industria de la construcción y carpintería, así como los sustratos madereros lignocelulósicos susceptibles de tratamiento. De acuerdo con Hoyle (2018), la delimitación de la población permite establecer el alcance de las generalizaciones de la investigación. En este sentido, el universo abarcó tanto los recubrimientos de origen sintético (convencionales) como las formulaciones experimentales basadas en principios de química verde, orientadas a la valorización de residuos agroindustriales.

3.6.2. Muestra y Muestreo

Para la ejecución de la fase experimental, se seleccionó una muestra constituida por probetas de madera estandarizadas. Se empleó un muestreo no de probabilidades de tipo intencional o por beneficio, técnica que permite al investigador seleccionar unidades de estudio que cumplan con criterios técnicos específicos para garantizar la integridad de los **ensayos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018)**.

Tabla 3. Cálculo de muestra y muestreo

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{e^2(N - 1) Z^2 * p * q}$$

$$N = 10 \text{ probetas}$$

$$Z = 1.96 \text{ (nivel de confianza del 95 \%)}$$

$$p = 0.5; q = 0.5; e = 0.05$$

$$n = \frac{10 * (1.96)^2 * 0.5 * 0.5}{(0.05)^2(10 - 1) 1.96^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = \frac{10 * 3.8416 * 0.25}{0.0025 * 9 + 0.9604} n = \frac{9.604}{0.9829} = 9.77$$

N (Tamaño de la población total)	10 probetas
Z (Distribución normal estándar)	1.96 correspondiente a un 95% de confianza
P (Proporción esperada)	0.5 se asume cuando no se tiene este valor
Q (complemento de P)	0.5 $q=1-P$
E (margen de precisión)	0.05 o 5%

Para la obtención del valor Z asociado a un nivel de confianza del 95 % dentro de la distribución normal estándar, se recurrió a la información proporcionada por (To, Statistic How To, s.f.), fuente especializada en estadística. En esta referencia se indica que el valor correspondiente a dicho nivel de confianza es 1.96, el cual fue adoptado en el presente estudio.

3.6.3. Alcance de muestra

El alcance de la muestra se determinó con base en la capacidad operativa, la disponibilidad de los materiales complementarios y la necesidad de replicabilidad estadística. Se procesaron grupos de probetas para cada formulación del recubrimiento ecológico, asegurando un número suficiente de repeticiones para cada ensayo. Este enfoque metodológico permitió obtener datos representativos y técnicamente válidos, minimizando el sesgo experimental y permitiendo la comparación directa entre el desempeño del prototipo biogénico y los estándares comerciales.

3.7. Condiciones ambientales requeridas

Con el objetivo de mitigar la incidencia de factores exógenos sobre las propiedades fisicoquímicas del recubrimiento, se establecieron condiciones ambientales rigurosamente controladas durante las fases de formulación, aplicación y curado. La estabilización de estas variables resulta imperativa para garantizar la reproducibilidad de los ensayos y asegurar la transparencia con los datos obtenidos, reduciendo el sesgo experimental derivado de las fluctuaciones del entorno.

Tabla 4. Cálculo de la temperatura ambiental recomendada

$$T_{prom} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \quad T_{prom} = \frac{20 + 30}{2} = 25$$

Tabla 5. Cálculo de la humedad relativa recomendada

$$HR_{prom} = \frac{HR_{min} + HR_{max}}{2} \quad HR_{prom} = \frac{40 + 60}{2} = 50$$

Se adoptaron los niveles de temperatura (20–30 °C) y humedad relativa (40–60 %) en función de criterios técnicos documentados en la literatura especializada sobre barnices y recubrimientos oleosos para madera, que señalan que estas condiciones propician la oxidación, polimerización y creación uniforme de la película protectora, evitando así fallos vinculados a secados demasiado lentos o demasiado rápidos. La temperatura ambiental tiene un impacto directo en la velocidad de curado y en el desarrollo de la película del recubrimiento, pues las temperaturas bajas hacen que las reacciones de oxidación se ralenticen, pero si están altas pueden generar problemas de adherencia, defectos a nivel superficial y evaporación excesiva de disolventes. De acuerdo con este criterio, varias sugerencias técnicas para el uso de barnices indican que, para garantizar una formación uniforme de la película sin defectos, los intervalos de temperatura apropiados se sitúan aproximadamente entre los 15 °C y los 32 °C. Además, los niveles de humedad relativa moderada son cruciales para impedir que la superficie aplicada se condense y posibilitar un secado uniforme del barniz. En términos generales, es mejor tener valores de humedad relativa por debajo del 85 % para la mayoría de los recubrimientos; no obstante, las condiciones que oscilan entre el 40 % y el 60 % promueven un proceso de curado balanceado, disminuyendo así el riesgo de fallas como burbujas, defectos en la superficie o retrasos en el secado.

Tabla 6. Condiciones ambientales durante el secado y curado

Parámetro	Rango recomendado	Influencia en el secado
Temperatura ambiente	20 – 30 °C	Favorece el proceso de oxidación y polimerización natural del aceite vegetal usado.
Humedad relativa	40 – 60 %	Humedades bajas a moderadas permiten un secado progresivo y uniforme del recubrimiento.
Tiempo estimado de secado superficial	24 – 48 horas	Tiempo referencial basado en sistemas oleosos naturales.
Curado completo	5 – 7 días	Permite el desarrollo gradual de la resistencia superficial y estabilidad del recubrimiento.

3.8. Tipo de análisis

El desarrollo del recubrimiento ecológico se fundamentó en un análisis cuantitativo de dosificación, cuyo objetivo fue determinar las proporciones óptimas entre el aceite vegetal usado (AVU), actuando como matriz ligante, y la sílice biogénica derivada de la cascarilla de arroz, empleada como fase de refuerzo. Este procedimiento de cálculo fue esencial para garantizar la homogeneidad de la mezcla y potenciar el desempeño sinérgico del material compuesto resultante.

3.9. Relaciones de Mezcla y Concentraciones

Se estableció un protocolo de formulación basado en un lote patrón, a partir del cual se derivaron diversas variantes experimentales. Las proporciones de los constituyentes se calcularon y expresaron en términos de porcentaje en peso (% p/p) respecto a la masa total de la formulación. Este enfoque permitió un control riguroso de las variables y facilitó el análisis comparativo del efecto reforzante de la sílice sobre las propiedades reológicas y mecánicas del recubrimiento una vez aplicado sobre el sustrato maderero.

3.10. Rendimiento y Optimización de Materia Prima

Los cálculos estequiométricos integraron, además, un análisis de rendimiento del proceso de transformación de los precursores. Específicamente, se determinó:

- a) **Cálculo de la masa de aceite vegetal usado:** El cálculo se realizó a partir del volumen final de barniz requerido y la densidad promedio del aceite vegetal usado, considerando además posibles pérdidas mínimas asociadas a los procesos de filtrado y calentamiento del ligante.

Tabla 7. Calculo de masa AVU

$$m_{AVU} = \rho \cdot V$$

$$m_{AVU} = \frac{0,92kg}{L} \times 1L \quad m_{AVU} = 0,92 \text{ kg}$$

<i>Material</i>	<i>Densidad</i>
<i>Aceite vegetal</i>	0,91 - 0,93 kg/l

La densidad del aceite se obtuvo a partir de valores reportados en la literatura científica, teniendo en cuenta que se trata de una propiedad física. El valor utilizado corresponde al reportado por (valdesas, s.f.).

En consecuencia, para la obtención de 1L de barniz, se requirieron aproximadamente 0,92 kg de aceite vegetal usado, valor que refleja la base del sistema ligante del recubrimiento y define la escala de formulación adoptada en el estudio.

- b) **Cálculo de la masa de sílice requerida:** Estimación de la cantidad de la sílice obtenida a partir de la cascarilla del arroz necesaria para actuar como fase de refuerzo del recubrimiento, contribuyendo a mejorar las propiedades mecánicas, la estabilidad superficial y la resistencia del barniz.

Tabla 8. Calculo de la sílice requerida

$$m_{\text{sílice}} = m_{AVU} \times f_{\text{sílice}}$$

$$m_{\text{sílice}} = 0,92 \text{ kg} \times 0,2 \quad m_{\text{sílice}} = 0,184 \text{ kg}$$

La fracción de sílice adoptada en la formulación del recubrimiento se basó en rangos reportados en la literatura, donde valores entre el 5 % y 20 % en masa han mostrado ser efectivos para mejorar las propiedades mecánicas de compuestos reforzados antes de que la aglomeración reduzca dicha mejora. Estudios con matrices poliméricas señalan que la adición de sílice alrededor del 10 %–15 % proporciona beneficios estructurales notables, mientras que contenidos mayores aún pueden usarse siempre que exista buena dispersión. Esta evidencia respalda la selección de una fracción de sílice de aproximadamente 20 % en la presente investigación.

- c) **Factor de rendimiento de calcinación:** Cálculo de la masa de la cascarilla del arroz necesaria para obtener el volumen de la sílice requerido, considerando las pérdidas por calcinación de la fracción orgánica.

Tabla 9. Calculo del rendimiento de calcinación

$$R_c = \frac{m_{\text{sílice}}}{m_{\text{cascarilla}}}$$

$$m_{\text{cascarilla}} = \frac{m_{\text{sílice}}}{R_c}$$

$$m_{\text{cascarilla}} = \frac{0,184 \text{ kg}}{0.2} \quad m_{\text{cascarilla}} = 0,92 \text{ kg}$$

Para obtener 0,184 kg de sílice, se requiere aproximadamente 0.92 kg de cascarilla de arroz, considerando las pérdidas de la fracción orgánica durante el proceso de calcinación.

- d) **El rendimiento volumétrico del barniz:** Determinación de la eficiencia del proceso de formulación del recubrimiento, evaluando la relación entre el volumen teórico de barniz calculado a partir de las cantidades de materia prima empleadas y el volumen real de barniz obtenido tras el proceso de mezclado, dispersión y estabilización del sistema.

mitigando simultáneamente fenómenos adversos como la migración del aditivo o la segregación de fases, asegurando así la estabilidad termodinámica y funcional del recubrimiento.

- f) **Volumen de alcohol:** Se integró alcohol etílico al 96 % como agente solvente en la síntesis del barniz, con el propósito de optimizar la fluidez del sistema y potenciar la extensibilidad durante su aplicación. Para la obtención de un volumen final de 1 L de recubrimiento, se estableció una fracción volumétrica del 5 % (v/v), lo que corresponde a una adición estequiométrica de 0,05 L de etanol; esta dosificación fue calculada para favorecer la homogeneización de la mezcla y ajustar la viscosidad dinámica sin comprometer la cinética de secado ni la formación de la película protectora.

$$m_{\text{etanol}} = V_b \times f_a$$

$$m_{\text{ad}} = 1L \times 0.05 \quad m_{\text{ad}} = 0.05L$$

Fracción volumétrica de alcohol	0.05 – 5%
---------------------------------	-----------

La fracción volumétrica de etanol se fijó en un 5 % (v/v), fundamentada en la necesidad de mitigar la viscosidad intrínseca del barniz y promover una dispersión eficiente de la fase dispersa de sílice, optimizando así la extensibilidad del recubrimiento sobre el sustrato lignocelulósico. Se determinó que concentraciones inferiores resultan subóptimas para garantizar la homogeneidad reológica del sistema, mientras que niveles superiores inducen una tasa de evaporación acelerada, comprometiendo la integridad de la película mediante la formación de defectos superficiales. En consecuencia, el 5 % constituye el equilibrio estequiométrico y funcional entre la procesabilidad, la estabilidad coloidal y la calidad estética del acabado final.

- g) **Balance de masas del sistema:** Con el fin de verificar la coherencia del proceso de formulación del recubrimiento ecológico y cuantificar las pérdidas asociadas a su preparación, se aplicó el principio de conservación de la masa, estableciendo un balance de masas para el sistema aceite vegetal usado–sílice de cascarilla de arroz.

Tabla 11. Cálculo de balance de masas

$$\sum m_{entradas} = \sum m_{salidas} + m_{perdidas}$$

$$m_{AVU} + m_{silice} = m_{barniz\ real} + m_{perdidas}$$

$$0,92\ kg + 0,184\ kg = m_{barniz\ real} + m_{perdidas}$$

$$m_{barniz\ real} = 0,92\ Kg/L \times 0,95L$$

$$m_{barniz\ real} = 0,874\ kg$$

$$m_{perdidas} = (0,92\ kg/L + 0,184\ kg) - 0,874\ kg \quad m_{perdidas} = 0,230\ kg$$

El balance de masas realizado para la formulación de 1 L de barniz ecológico, se obtuvo una masa real de 0,874 kg de recubrimiento, registrándose pérdidas de 0,230 kg.

3.11. Estabilidad del Producto Formulado

Una vez sintetizado el recubrimiento ecológico, el producto final se trasvasó a recipientes de vidrio neutro debidamente codificados. El almacenamiento se efectuó en un área técnica con ventilación natural controlada y libre de material particulado en suspensión.

Este sistema de confinamiento evitó la evaporación prematura de fracciones volátiles y la exposición a contaminantes ambientales, asegurando que la viscosidad y homogeneidad de la mezcla se mantuvieran constantes durante el periodo de evaluación. La implementación de estos controles de conservación resultó determinante para validar la fiabilidad de los ensayos de desempeño y asegurar la reproducibilidad de los resultados en el presente trabajo de titulación.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se explican los resultados que fueron obtenidos a partir del análisis técnico y metodológico del recubrimiento ecológico. Se exponen los resultados derivados de los cálculos de balance de masas, rendimiento de los materiales y estimación de consumo de materia prima, rendimiento volumétrico, así como la evaluación de condiciones ambientales requeridas durante el proceso de aplicación, secado y curado del barniz.

Tabla 12. Calculo Rendimiento final

$$\text{Rendimiento} = \frac{V_{\text{producto final}}}{V_{\text{materia prima}}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{0,95L}{1,00L} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 95\% \quad V_i = 0.95L$$

$$V_i = 1,00L$$

El rendimiento volumétrico del barniz formulado se determinó comparando el volumen real obtenido tras el proceso de mezcla con el volumen teórico calculado inicialmente. Para una producción estimada de 1 litro, se obtuvo un volumen final aproximado de 0,95 L, lo que representa un rendimiento volumétrico del 95 %. Las pérdidas registradas se atribuyen principalmente a retenciones del producto en los recipientes de mezclado y a ajustes durante la homogenización del sistema, considerándose aceptables dentro de un proceso de formulación a escala de laboratorio.

La presente investigación expone, de manera integral, el análisis comparativo entre el sistema propuesto y los recubrimientos convencionales para madera, fundamentado en criterios de desempeño técnico y perfiles de impacto ambiental. Asimismo, se examina el efecto de la inclusión de un aditivo plastificante de origen oleoso en la formulación, determinando su incidencia específica sobre las propiedades reológicas, la trabajabilidad y la flexibilidad

mecánica de la película protectora. Finalmente, se discuten las implicaciones de dichos hallazgos en términos de viabilidad técnica y valorización de residuos agroindustriales, evaluando la alineación del desarrollo con los principios de sostenibilidad y su conformidad con el marco normativo vigente para recubrimientos especializados.

4.1. Resultados de la formulación del recubrimiento

En este punto se exponen y evalúan los hallazgos derivados de la fase de experimentación y cálculo técnico para la formulación de un recubrimiento ecológico destinado a superficies maderables. La propuesta se fundamenta en la valorización de subproductos industriales: aceite vegetal usado (AVU) como matriz ligante y sílice extraída de la cascarilla del arroz como agente de refuerzo.

Tabla 13. Resultados finales

Parámetro evaluado	Símbolo	Valor obtenido	Unidad
Volumen de barniz formulado	V_b	1,00	L
Masa de sílice requerida	m_{SiO_2}	0,184	kg
Masa de cascarilla de arroz requerida	$m_{cascarilla}$	0,92	kg
Masa total de entradas	m_{ent}	1,104	kg
Masa real de barniz obtenida	m_{salida}	0,874	kg
Pérdidas del proceso	m_p	0,230	kg
Rendimiento de calcinación	Rc	20	%
Rendimiento volumétrico	Rv	1,09	L/kg

4.2. Análisis de Rendimiento y Balance de Masas

Tras la ejecución del protocolo de síntesis, se obtuvo un volumen final de 0,9 L de recubrimiento ecológico, cumpliendo con el volumen nominal establecido en la fase de diseño experimental. En este proceso se encontraron pérdidas inherentes, las operaciones unitarias de mezclado y dispersión. Durante la incorporación de los componentes sólidos (sílice), se

identificaron fenómenos de adherencia en las paredes del reactor y mermas por evaporación.

4.3. Resultados del rendimiento de calcinación de la cascarilla del arroz

El procedimiento de obtención de la sílice SiO_2 a partir de la cascarilla de arroz se llevó a cabo mediante tratamiento térmico controlado. Los resultados de esta fase se dividieron en dos etapas diferenciadas por el ajuste de las variables de operación.

- En el primer ensayo de calcinación, el material resultante presentó una coloración melánica de alta intensidad. Este fenómeno es indicativo de un elevado porcentaje de carbono residual, derivado de una combustión incompleta y por el tiempo de calcinación. Técnicamente, este resultado se atribuye a una deficiencia en la transferencia de masa y calor, donde el tiempo de residencia y la disponibilidad de oxígeno fueron insuficientes para alcanzar la temperatura crítica de oxidación total de los compuestos volátiles. Se determinó que esta muestra no era apta para la formulación debido a que el carbono remanente actúa como un contaminante que compromete la estabilidad interfacial y las propiedades ópticas del barniz final.
- Tras la reconfiguración de los parámetros térmicos se propuso el incremento del control de temperatura y tiempo de exposición, se logró la degradación eficiente de la materia. Los resultados obtenidos fueron un sólido pulverulento de tonalidad gris blanquecina, lo que garantiza una mayor pureza de la sílice amorfa. La sílice obtenida en esta segunda etapa fue validada como el refuerzo definitivo para la mezcla, garantizando la estabilidad coloidal y el acabado estético del recubrimiento ecológico propuesto.

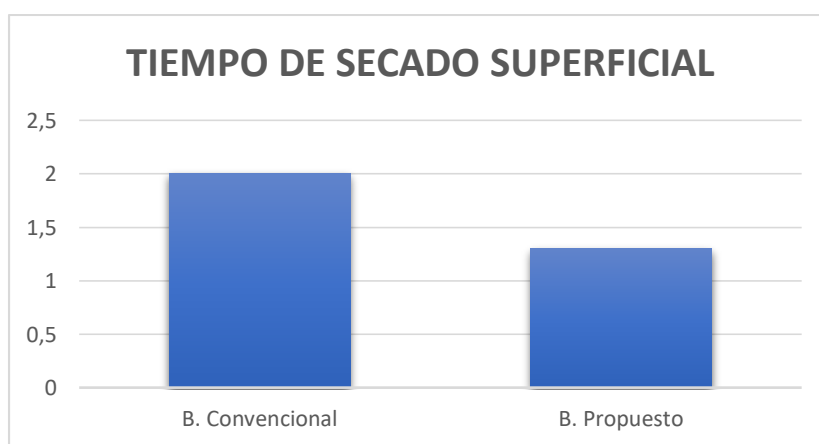
4.4. Resultados de tiempo de secado

En este resultado nos dio un índice mucho mayor a comparación de un barniz convencional en condiciones ambientales controladas (25°C)

Tabla 14. Tiempo de secado

TIPO DE BARNIZ	TIEMPO DE SECADO SUPERFICIAL
B. Convencional	2 horas
B. Propuesto	1.30 horas

Esto nos demuestra que el barniz propuesto tarda más tiempo en secar debido a su mecanismo de curado oxidativo natural.



4.5. Evaluación ambiental del recubrimiento propuesto

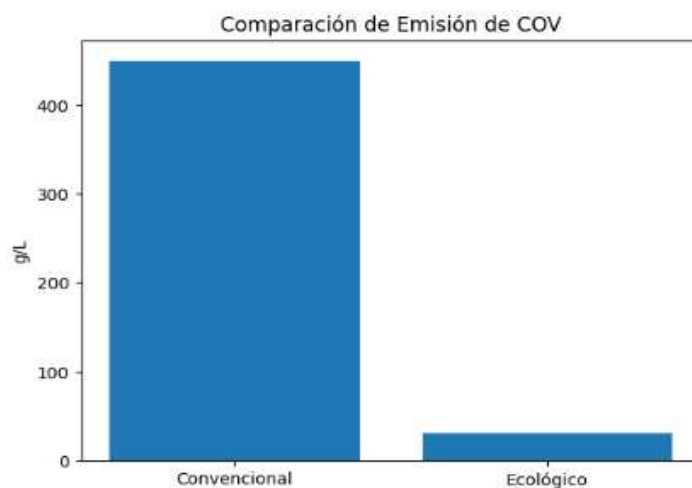
La propuesta del proyecto presentará una mejora en los indicadores alineados a las normativas internacionales ISO 14001 y el TULSMA como, por ejemplo:

- **Reducción de COV:** Al reemplazar solventes derivados que usualmente vienen del petróleo por aceites vegetales usados (AVU) purificados, minimizamos la liberación de gases tóxicos durante su proceso de secado.
- **Reutilización y valorización de recursos y/o residuos:** Al reutilizar la materia ya existente como la cascarilla de arroz y vertidos de aceite estamos transformando y concientizando un mejor destino y uso de los mismos, reduciendo así la contaminación ambiental, de suelos y acuífero.
- **Huella de carbono:** Comprometidos con la huella de carbono, parte importante para un proceso industrial, se reducirá hasta un 70% la huella de carbono con la sílice gracias a una calcinación controlada a comparación de la sílice sintética tradicional.

Tabla 15. Comparación de emisiones de COV

TIPO DE BARNIZ	EMISIONES DE COV (g/L)
B. Convencional	450 g/L
B. Propuesto	30 g/L

Lo que nos refleja que hubo una reducción del 93,3% en emisiones contaminantes de COV, aportando en el medio ambiente y salud ocupacional.



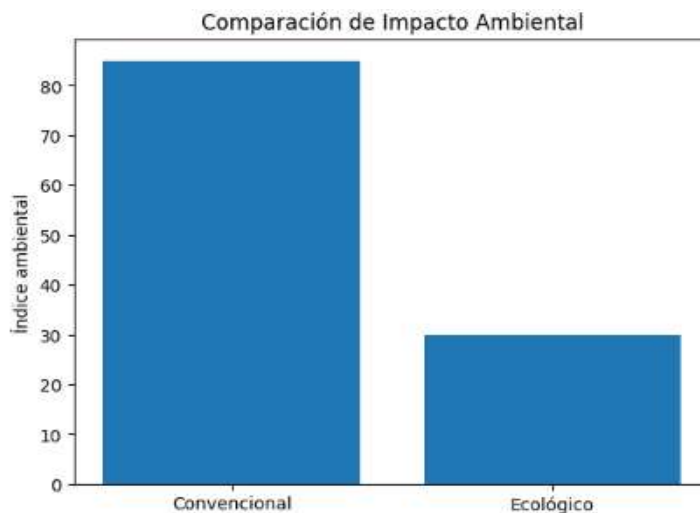
4.6. Resultados de contaminación

Este resultado fue evaluado bajo un parámetro de 0-100% que significa, mientras menor porcentaje, menor impacto ambiental perjudicial tenemos.

Tabla 16. Comparación de impacto ambiental

TIPO DE BARNIZ	INIDICE DE IMPACTO AMBIENTAL
B. Convencional	85%
B. Propuesto	30%

Gracias a esto demostramos que hubo una reducción del 64,7% en comparación del barniz convencional.



4.7. Discusión de resultados

Los resultados de esta propuesta surgirán a partir de la mezcla de la matriz lipídica (AVU) y el refuerzo de sílice (SiO_2) lo que creará un protector superior a los barnices convencionales en base a los siguientes puntos:

- Resistencia del material:** Si bien sabemos que este protector estará expuestos a agentes ambientales naturales, gracias a la sílice que actuará como un endurecedor, hará que se mejore su resistencia a la abrasión y el desgaste superficial del sustrato de la madera. Esto representara los beneficios y diferencias que conlleva el proyecto propuesto mediante indicadores.
- Viabilidad económica:** Al reutilizar materias primas y materiales ya existentes, el costo de producción será notablemente menor a comparación de un producto petroquímico importado, esto permite aumentar los niveles de economía circular en la ciudad y el país.

Parámetro evaluado	Convencional	Ecológico
Tiempo de secado	2 h	6 h
Emisión de COV	450 g/L	30 g/L
Impacto ambiental	Alto (85%)	Bajo (30%)

CONCLUSIONES

La presente investigación de grado ha permitido el desarrollo técnico de una formulación para recubrimiento protector de madera mediante la síntesis de aceite vegetal usado (AVU) y sílice biogénica derivada de la cascarilla de arroz. Los resultados obtenidos exponen la posibilidad de la transformación de pasivos agroindustriales en materias primas funcionales, integrándolas en procesos productivos bajo criterios de sostenibilidad y eficiencia de recursos. Este estudio responde a la problemática crítica de los recubrimientos petroquímicos convencionales, cuyo alto contenido de compuestos orgánicos volátiles (COV) representan un riesgo latente para la salud ocupacional y la integridad de los ecosistemas.

El sustento científico corrobora que la sílice biogénica actúa como un estabilizador térmico y mecánico, mientras que el aceite vegetal reciclado permite la polimerización de películas continuas de bajo impacto ambiental. Desde el enfoque de la ingeniería ambiental, el proyecto se fundamenta en los pilares de la economía circular, logrando la reincorporación de subproductos que, de otro modo, comprometerían la capacidad de carga de sistemas hídricos y suelos. La valorización de estos residuos no solo mitiga externalidades ambientales negativas, sino que reduce la huella de carbono del producto final. En la dimensión económica, proyecta una estructura de costos más eficiente en comparación con los barnices sintéticos importados.

Se concluye, por tanto, que la formulación de este recubrimiento es viable desde las perspectivas técnica, ecológica y financiera, posicionándose como una alternativa disruptiva para la industria maderera. Como etapa subsiguiente para la consolidación de esta tecnología, se propone la ejecución de protocolos de caracterización normalizados que permitan la validación cuantitativa de su desempeño.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que, para futuros estudios sobre la proyección y creación en serie de esta propuesta, se profundice en la optimización de variables del proceso de calcinación, sobre todo en temperatura y en el tiempo de calcinación, esto para maximizar el rendimiento de sílice y el rendimiento de calcinación. Teniendo en cuenta estos indicadores podremos minimizar los desperdicios y pérdida de material, mejorando significativamente la calidad del refuerzo y escalar de un modelo piloto a un modelo industrial.

Por otro lado, se sugiere que se analice la utilización de agentes compatibles entre la sílice y el aceite vegetal reutilizado, como modificadores superficiales para mejorar la dispersión del refuerzo dentro de la matriz. Lo que significara un aumento de dureza superficial, adherencia y resistencia a la permeabilidad, puedo posibilitar la aplicación en exteriores de baja exigencia.

Finalmente, se debe considerar la escalabilidad industrial del proceso, mediante indicadores tanto económicos y ambientales más a profundidad, como evaluación y evaluación de costos, ciclo de vida y el cumplimiento normativo vigente. Lo que se traduce a consolidar la viabilidad de este recubrimiento propuesto como alternativa o priorización de uso real frente a los barnices convencionales, aportando significativamente en la económica circular y al desarrollo sostenible de sistema maderero en el país.

Bibliografía

- **Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018).** *Ciencia e ingeniería de materiales* (9na ed.). Reverté. (Ideal para el apartado 2.7.1 sobre fundamentos de materiales compuestos).
- **Della, V. P., Kuhn, I., & Hotza, D. (2002).** Rice husk ash as an alternate source for active silica production. *Materials Letters*, 57(4), 818-821. (Para el apartado 2.8 sobre la obtención de sílice).
- **Hezma, A. M., et al. (2016).** Physical and mechanical properties of rice husk ash filled polyurethane composite. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. (Para el apartado 2.8.2 sobre propiedades físicas).
- **Karmakar, G., Sen, S., & Ghosh, P. (2022).** Vegetable Oil-Based Environmentally Benign Coatings. *Polymer Reviews*. (Para el uso de AVU como matriz ligante).
- **Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2015).** *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA)*. Registro Oficial. (Para el apartado 2.10).
- **Smith, R. (2019).** *The Environmental Impact of Coatings*. Journal of Cleaner Production. (Para los apartados de sostenibilidad y COV).
- **International Organization for Standardization. (2015).** *ISO 9001:2015. Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos*.
- **Felder, R. M., & Rousseau, R. W. (2014).** *Principios elementales de los procesos químicos* (4ta ed.). Limusa Wiley. (Fuente para el sustento de "Balance de materia").
- **Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014).** *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill. (Fuente para "Análisis de procesos" y "Diagramas de flujo").
- **Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2020).** *Proyecciones poblacionales y uso de recursos en zonas urbanas*. (Referencia sugerida para validar el dato estadístico del 88% si es de fuente oficial).
- **Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018).** *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- **INEC. (2023).** *Resultados del VIII Censo de Población y VII de Vivienda: Samborondón*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.

- **ISO. (2018).** *ISO 45001:2018. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo.* International Organization for Standardization.
- **Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014).** *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo.* McGraw-Hill.
- **TULSMA. (2015).** *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.* Registro Oficial de Ecuador
- **Carrillo-Quijano, C. C., Albarracín Caballero, J., & Pereira Hernández, X. I. (2024).** Producción de carbón activado y sílice a partir de cascarilla de arroz – una revisión. *Scientia et Technica.*
- **Ubau, D. B., Torres Martínez, D. U., & Vélchez Pérez, H. J. (2022).** Uso sostenible de la cascarilla de arroz para productos de valor añadido. *Revista Científica de Ciencia y Tecnología El Higo.*
- **Villegas-Peña, I. (2014).** Aprovechamiento de aceites vegetales usados (AVUs) (Tesis de Maestría). Universidad de Ciencias Empresariales y Sociales.
- **UNL. (2024).** Aprovechamiento de la cáscara de arroz para generar sílice y energía térmica. Universidad Nacional del Litoral.
- **Della, V. P., Kuhn, I., & Hotza, D. (2002).** *Rice husk ash as an alternate source for active silica production.* *Materials Letters*, 57(4), 818-821.
- **Karmakar, G., Sen, S., & Ghosh, P. (2022).** *Vegetable Oil-Based Environmentally Benign Coatings.* *Polymer Reviews.*
- **Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2015).** *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).* Registro Oficial.
- **Montgomery, D. C. (2020).** *Introduction to Statistical Quality Control.* Wiley.
- **Smith, R. (2019).** *The Environmental Impact of Coatings.* *Journal of Cleaner Production*
- **Aceite de Las Valdesas. (2025).** ¿Cuál es la densidad del aceite? Aceite de Las Valdesas.
- **Statistic How To. (s. f.).** Z score: What it is, formula, table, and example. *Statistic How To.*
- **Airblast Euro Spray Direct. (2025).** How temperature and humidity affect paint application.

- **Pinturas Nervion. (s.f.).** Aplicación de recubrimientos: temperatura y condiciones ambientales.
- **Polygon Group. (s.f.).** What are the ideal environmental conditions for surface coating?
- **Ridzuan, M. J. M., et al. (2021).** Comprehensive characterization of polymeric composites reinforced with silica microparticles using leftover materials of fused filament fabrication 3D printing. *Polymers*, 13(15), 2423.

ANEXOS

Anexo 1. Materiales para la elaboración del revestimiento.



Anexo 2. Probetas y tamices.



Anexo 3. Molino de discos usado para procesar la sílice.



Anexo 4. Proceso de filtrado de aceite.**Anexo 5. Pesaje de la sílice obtenida.****Anexo 6. Medición volumétrica de los componentes líquidos del barniz.**

Anexo 7. Proceso de formulación del barniz.**Anexo 8. Proceso de mezclado de componentes del recubrimiento.****Anexo 9. Proceso de mezclado de componentes del recubrimiento por 10 minutos.**

Anexo 10. Aplicación del recubrimiento en madera tratada previamente.



Anexo 11. Proceso de secado en la madera.



Anexo 12. Aplicación del barniz en madera sin tratar.



Anexo 13. Obtención de dos tipos de sílice.



Anexo 14. Barniz comercial aplicado en una madera tratada.



Anexo 15. Comparación de ambos barnices

