



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE DISEÑO Y ARQUITECTURA
CARRERA DE DISEÑO INDUSTRIAL

Proyecto de investigación previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Diseño Industrial

**“Uso del polvillo residual de cuero para la obtención de un material
compuesto”**

Autor/a: Angie Estefania Alvarez Panta

Tutor/a: Ing. Mayra Alejandra Paucar Samaniego. M. Eng

Ambato - Ecuador

Marzo - 2025

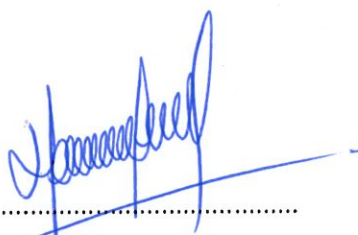
APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación sobre el tema:

Uso del polvillo residual de cuero para la obtención de un material compuesto del/la alumno/a Angie Estefania Alvarez Panta, estudiante de la carrera de Diseño Industrial, considero que dicho Trabajo de Titulación bajo la Modalidad de investigación ha sido revisado en su totalidad, el mismo que responde a las normas establecidas en el Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo, ante el organismo pertinente para ser sometido a la evaluación de los profesores calificadores designado por el H. Consejo Directivo de la Facultad.

Ambato, junio 2025



Ing. Mayra Alejandra Paucar Samaniego. M. Eng

C.C.: 0604098194

TUTOR(A)

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Angie Estefania Alvarez Panta con cédula de ciudadanía No 1805439476, declaro que los criterios emitidos en el trabajo de titulación, modalidad de investigación bajo el tema: **Uso del polvillo residual de cuero para la obtención de un material compuesto.**, así como también los contenidos presentados, ideas, análisis, síntesis de datos y conclusiones, son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor/a de este trabajo de Titulación

Ambato, junio 2025



Angie Estefania Alvarez Panta

C.C.: 1805439476

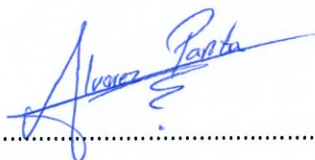
AUTOR(A)

DERECHOS DE AUTOR

Yo, Angie Estefania Alvarez Panta con C.C.: 1805439476 en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **USO DEL POLVILLO RESIDUAL DE CUERO PARA LA OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO**, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de titulación o parte de él, un documento disponible con fines netamente académicos para su lectura consulta y procesos de investigación.

Cedo una licencia gratuita e intransferible, así como los derechos patrimoniales de mi Trabajo de Titulación a favor de la Universidad Técnica de Ambato con fines de difusión pública; y se realice su publicación en el repositorio institucional de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, siempre y cuando no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor/a.

Ambato, junio 2025



Angie Estefania Alvarez Panta

C.C.: 1805439476

AUTOR/A

TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado del Trabajo de Titulación, Modalidad de investigación sobre el **USO DEL POLVILLO RESIDUAL DE CUERO PARA LA OBTENCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO** de Angie Estefanía Alvarez Panta, estudiante de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial, de la Facultad de Diseño y Arquitectura de conformidad con el Reglamento para la Titulación de Grado para obtener el título terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato, una vez revisado y calificado

Ciudad, mes y año

Para constancia firman:

Título. Nombres y Apellidos

PRESIDENTE

C.C.:

Título. Nombres Apellidos

MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO

C.C.:

Título. Nombres Apellidos

MIEMBRO TRIBUNAL DE GRADO

C.C.:

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, *Rodrigo y Adriana*, por enseñarme el valor del esfuerzo, honestidad y responsabilidad. Por su apoyo incondicional a lo largo de estos años, siendo mi mayor fortaleza y admiración para seguir adelante. A mi hermana, *Kimberly* por acompañarme en cada momento.

Angie Estefania Alvarez Panta

AGRADECIMIENTO

A lo largo de este proceso de investigación y desarrollo, he contado con el apoyo de personas e instituciones que han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

Agradezco profundamente a Curtiduría Tungurahua, por abrirme sus puertas, compartir su experiencia y colaborar activamente en este proyecto.

A mi tutora de tesis, por su guía, paciencia y orientación técnica, siempre dispuesta a brindarme su conocimiento para mejorar cada etapa del proceso.

A mis docentes de la carrera de Diseño Industrial, por sembrar en mí el interés por el diseño con propósito, y por motivarme a pensar más allá de un producto.

A mi familia, por su amor incondicional, por creer en mí incluso en los momentos de incertidumbre, y por ser el motor de cada paso que doy.

A mis amigas y colegas, *Salo, Mica y Jess*, por su apoyo emocional, por compartir ideas, y por ayudarme a ver este proyecto desde nuevas perspectivas.

A todas las personas que, de una u otra manera, aportaron a este trabajo: mi más sincero agradecimiento.

“Gracias Totales”

Gustavo Cerati

Angie Estefania Alvarez Panta

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
Resumen ejecutivo.....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	1
CAPÍTULO 1.....	2
MARCO TEÓRICO	2
1.1 Tema.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación	6
1.4 Objetivos.....	7
1.5 Antecedentes de investigación.....	8
1.6 Fundamentación.....	14
1.7 Categorías fundamentales	24
1.8 Pregunta de investigación	48
1.9 Señalamiento de variables	48
Capítulo II.....	49
Metodología.....	49
2.1 Método	49
2.1.2 Modalidad básica de la investigación	50
2.1.3 Nivel o tipo de investigación	50
2.2 Población y muestra.....	52
2.3 Operacionalización de variables	50

2.4 Técnicas de recolección de datos.....	52
Capítulo III	66
Resultados y discusión	66
3.1 Análisis y discusión de los resultados.	66
3.2 Verificación de la pregunta de investigación.....	85
3.3 Costos de producción.....	88
Capítulo IV	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
Bibliografía	92
Anexos	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes de investigaciones similares para tratar el polvo residual.	10
Tabla 2. Análisis PESTEL	22
Tabla 3. Resultados de caracterización de polvo residual proveniente de la Curtiduría Tungurahua. Fuente:(Alvarado, 2025).....	27
Tabla 4. Calidad del suelo - Valores máximos permisibles. Adaptado de (Libro-VI-Calidad-Ambiental, 2015).....	30
Tabla 5. Información del caso de muestra y población	52
Tabla 6. Registro de producción diaria de polvo residual de cuero.	54
Tabla 7. Eliminación de humedad.	56
Tabla 8. Proceso de tamizado del polvillo residual de cuero.	57
Tabla 9. Relación refuerzo-matriz para probetas.....	58
Tabla 10. Características de ensayo de tracción	58
Tabla 11. Características de ensayo de dureza.	59
Tabla 12. Justificación técnica y normativa de los ensayos aplicados al material compuesto.	60
Tabla 13. Costo de materiales para fabricación de probetas.	65
Tabla 14. Costo de ensayos sometidos a probetas.....	65
Tabla 15. Estructura de entrevista.	66
Tabla 16. Análisis de triangulación	77
Tabla 17. Resultado de ensayo de tracción aplicado a probetas.....	79
Tabla 18. Resultados de ensayo de dureza.	80
Tabla 19. Módulos de elasticidad en polímeros. Fuente:(Sonelastic, 2024)	82
Tabla 20. Comparación de valores entre material propuesto y Polipropileno.....	83

Tabla 21. Comparación técnica de material propuesto y Placas decorativas de Resina 3-Form.	84
Tabla 22.. Costo de producción.	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contextualización de distintos factores causantes y efectos de la problemática	5
Figura 2. Máquina compactadora de polvo de lijado en Curtiduría Tungurahua	9
Figura 3. Almacenamiento de cilindros do polvo compacto.....	9
Figura 4. Productos resultantes del reciclaje de diversos residuos generados durante el proceso de curtido.	10
Figura 5. Análisis FODA	23
Figura 6. Categorías fundamentales.....	24
Figura 7. Redes conceptuales Variable Independiente.....	24
Figura 8. Redes conceptuales Variable Independiente.....	25
Figura 9. Diagrama de procesos de curtido con sales de cromo. Fuente: Ministerios del ambiente, Agua y Transición Ecológica(2012)	28
Figura 10. Representación de impacto ambiental producido por el proceso. Fuente: Ministerios del ambiente, Agua y Transición Ecológica (2013)	29
Figura 11. Ciclo de vida del polvo residual de cuero.....	30
Figura 12. Diámetro de cilindro compactado.....	33
Figura 13. Peso de cilindro proveniente de la Curtiduría Tungurahua.	33
Figura 14. Varianza entre cilindros dependiendo el cuero.	34
Figura 15.. Clasificación de materiales compuestos. Fuente:(D. K. Rajak et al., 2019) 35	
Figura 16. Matrices con mayor trascendencia dentro de la industria. Fuente:(MAURICIO TORRES ARELLANO et al., 2024).....	36
Figura 17. Diagrama comparativo de esfuerzo de deformación entres fibra, resina y material compuesto. Fuente: (Berdejo Nieve, 2024)	37
Figura 18. Diagrama tensión-deformación en polímeros. Fuente: (Mexpolimeros, n.d.)	38
Figura 19. Resultados máximos de esfuerzo-deformación para resina epóxica. Fuente: (Anabel Nava Gastelum et al., 2018).....	39
Figura 20. Esquema de la composición de un material compuesto. Fuente:	40
Figura 21. Estructura tipo sándwich.	40
Figura 22. Comportamiento tensión-deformación de las CMC, en comparación de las cerámicas monolíticas. Fuente: (D.; K.; Rajak et al., 2024)	45
Figura 23. Comparación la resistencia a la flexión y a la tracción de fibras reforzadas con diversos materiales. Fuente: (D.; K.; Rajak et al., 2024)	46
Figura 24. Empresa colaborante. Fuente:(Curtiduría Tungurahua S.A., n.d.)	52

Figura 25. Operacionalización Variable Independiente	50
Figura 26. Operacionalización Variable Dependiente.....	51
Figura 27. Recolección de polvo residual	52
Figura 28. Pesaje de cilindros compactados	53
Figura 29. Disposición de polvo residual de cuero en secador manual	55
Figura 30. Proceso de eliminación de humedad en el polvo residual de cuero.	55
Figura 31. Proceso de tamizado de polvo residual de cuero.	57
Figura 32. Dimensiones de probeta de tracción Tipo I. Fuente:(Alibaba, n.d.).....	58
Figura 33. Dimensiones de probeta de dureza shore D.....	59
Figura 34. Medición de polvo residual.	61
Figura 35. Medición de resina y endurecedor.	62
Figura 36. Primera capa de resina	62
Figura 37. Capa de polvo residual de cuero	63
Figura 38. Segunda capa de resina	63
Figura 39. Tabulación primera pregunta.	68
Figura 40. Tabulación segunda pregunta.	69
Figura 41. Tabulación tercera pregunta.....	69
Figura 42. Tabulación cuarta pregunta.....	70
Figura 43. Tabulación quinta pregunta.....	71
Figura 44. Tabulación sexta pregunta.	72
Figura 45. Tabulación séptima pregunta.	72
Figura 46. Tabulación octava pregunta.	73
Figura 47. Tabulación novena pregunta.	74
Figura 48. Tabulación décima pregunta.	75
Figura 49. Tabulación décima primera pregunta.....	75
Figura 50. Tabulación décima segunda pregunta.	76
Figura 51. Ensayo de tracción.....	78
Figura 52. Probetas sometidas a ensayo de tracción.....	79
Figura 53. Probetas sometidas a ensayo de dureza	80
Figura 54. Modelado de módulo.	87
Figura 55. Aplicación para diseño de interior.	87
Figura 56. Prototipo de módulo.	88
57. Comparativa de precios por metro cuadrado entre el material compuesto propuesto y productos similares del mercado.	89

Resumen ejecutivo

La empresa Curtiduría Tungurahua, reconocida por su trayectoria en el procesamiento de pieles y su compromiso con la calidad, ha demostrado una creciente conciencia sobre el impacto ambiental derivado de las actividades del sector curtiduría. En este contexto, y en colaboración con la empresa, se desarrolla la presente investigación enfocada en el aprovechamiento del polvillo residual generado en el proceso de lijado del cuero, con el objetivo de formular un material compuesto de matriz polimérica apto para aplicaciones en el mercado.

El estudio se llevó a cabo mediante una metodología mixta: investigación bibliográfica, de campo y experimental, permitiendo identificar el potencial del residuo como materia prima secundaria y evaluando sus propiedades al ser combinado con una resina epóxica como matriz. Las pruebas experimentales incluyeron ensayos de tracción y dureza en laboratorio, cuyos resultados permitieron determinar la viabilidad técnica del material desarrollado.

De las diferentes formulaciones evaluadas, la combinación 40% resina epóxica y 60% polvillo residual presentó el mejor comportamiento mecánico. Esta formulación alcanzó un módulo elástico de 1,37 MPa, una resistencia a la tracción de 2,12 MPa, una deformación del 5,37%, y una dureza relativa de 0,838, valores que se compararon favorablemente con los de ciertos polímeros comerciales.

En función de sus propiedades, se propone la aplicación del material compuesto en el desarrollo de productos decorativos para diseño de interiores, donde el residuo queda encapsulado en estructuras protegidas, reduciendo así su exposición directa al entorno y a los usuarios. Este enfoque no solo aporta valor a un desecho industrial, sino que contribuye a mitigar el impacto ambiental del sector, ofreciendo una alternativa innovadora, funcional y sostenible.

DESCRIPTORES: REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CUERO, MATERIALES COMPUESTOS, RESINA EPÓXICA, DISEÑO SOSTENIBLE, ECONOMÍA CIRCULAR

Abstract

Curtiduría Tungurahua, a well-established leather processing company known for its quality and experience in the industry, has committed to mitigating the environmental impact associated with its operations. In response, this research was carried out in collaboration with the company, aiming to develop composite material by reusing the fine residual dust generated during the leather sanding process.

The study followed a comprehensive methodology that included bibliographic research, fieldwork, and experimental testing. These approaches provided valuable insights into the potential reuse of the residue and its applications. The experimental phase focused on formulating a composite material by combining the residual leather dust with epoxy resin as the matrix. Samples were subjected to tensile and hardness tests in the laboratory to determine the mechanical properties of each formulation.

Among the tested mixtures, the 40:60 ratio (epoxy resin to leather dust) demonstrated the best mechanical performance. This formulation achieved an elastic modulus of 1.37 MPa, tensile strength of 2.12 MPa, elongation of 5.37%, and a relative hardness of 0.838, showing potential when compared to certain commercial polymers.

Given its performance, the proposed application is in decorative interior design products, where the material can serve as the core of decorative modules, with the residue encapsulated to prevent environmental and human exposure. This solution not only adds value to an industrial by-product but also contributes to waste reduction and environmental sustainability in the leather industry.

DESCRIPTORS: LEATHER WASTE REUSE, COMPOSITE MATERIALS, EPOXY RESIN, SUSTAINABLE DESIGN, CIRCULAR ECONOMY

Introducción

En la actualidad estamos atravesando por un alto índice de contaminación ambiental, que en ciertas regiones del mundo sean más evidentes no quita la importancia del caso en países con menor índice. Esto se debe al incremento de manufacturas en distintos sectores industriales, desde décadas pasadas hasta el presente, sin conciencia alguna por el ambiente. Sin embargo, apenas años anteriores se ha considerado planes estratégicos para mitigar la contaminación que generan las grandes, medianas y pequeñas empresas, demostrando el interés por tratar de mejor manera los residuos industriales.

El desarrollo de material compuesto se ha convertido en una de las soluciones más viables para el manejo de residuos en las industrias, donde la integración de la ingeniería y el diseño permiten mejores resultados. Tungurahua se ha caracterizado por ser una provincia que conforma varios sectores económicos esenciales para el país, siendo uno de los más representativos, las curtiembres, teniendo más de cincuenta industrias dentro de la provincia. Sin embargo, no en todas estas industrias manejan adecuadamente los residuos obtenidos por los procesos productivos dentro de la empresa, especialmente subproductos generados por el lijado del cuero.

Es por ello, que esta investigación se centra en el desarrollo de material compuesto a partir del polvillo residual de lijado para contrarrestar la contaminación sólida existente. Como objetivo principal es desarrollar un material compuesto para la gestión de desechos en las curtiembres complementando con los objetivos específicos que nos permitirán la identificación de las propiedades físicas y químicas del polvillo residual de cuero proveniente de la curtiduría Tungurahua, además del análisis del manejo actual del desecho y el impacto ambiental que genera. Para obtener un material compuesto con mejores propiedades de ingeniería y su potencial para la aplicación en el diseño de productos.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema

Uso del polvillo residual de cuero para la obtención de un material compuesto

1.2 Planteamiento del problema

En el presente estudio se aborda el desafío que enfrentan las curtiembres en la gestión de desechos sólidos. Al ser una de las industrias más contaminantes, resulta crucial asignarle la importancia necesaria para mitigar las afectaciones que genera, tanto a nivel ambiental como social. Esta problemática se deriva de los múltiples procesos productivos que conforman las curtiembres, cada uno con distintos niveles de impacto ambiental. Entre estos, destaca el polvillo residual, un subproducto cuya importancia ha sido frecuentemente subestimada, a pesar de su alto potencial contaminante.

La ausencia de una adecuada gestión de este residuo ha ocasionado exposiciones involuntarias, como el contacto directo con el polvillo, el cual contiene compuestos químicos peligrosos. Estos contaminantes pueden provocar enfermedades respiratorias de diversa gravedad, desde afecciones leves hasta casos severos (Silva & Salinas Morales, 2022).

Actualmente, el 80% de las curtiembres del país se concentran en Tungurahua comprendidas por 57 empresas, siendo la curtiduría Tungurahua nuestro caso de estudio, considerando que estas empresas generan aproximadamente un 85% de desechos residuales, los cuales representan un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente (La Hora, 2024).

Por lo tanto, el presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un material compuesto que no solo permita reducir los desechos generados por las curtiembres, sino que también fomente la sostenibilidad y la economía circular en la región.

1.2.1 Contextualización

La contaminación ambiental por residuos sólidos ha experimentado un crecimiento significativo a lo largo de la historia, impulsado por el aumento de la actividad industrial y el crecimiento poblacional (Villanueva, Reyes, Obando, & Rodríguez, 2022). En este contexto, la gestión de residuos debería ser considerado como un pilar fundamental para alcanzar un desarrollo sostenible. Sin embargo, diversos estudios han evidenciado que los municipios suelen presentar limitaciones en cuanto a conocimientos sobre tecnologías y prácticas eficientes de manejo de residuos (Sánchez, Cruz, & Maldonado, 2020).

Teniendo en cuenta que en la actualidad existen técnicas internacionales vinculadas a estándares de calidad ambiental con el fin de controlar el impacto ambiental (Rodríguez, Gonzales, & Turiño, 2019). Se han establecido técnicas y normativas ambientales destinadas a minimizar el impacto ecológico de los residuos. Por ejemplo, la Ley 7/2022 fomenta el uso eficiente de los recursos mediante estrategias de reciclaje, reutilización y correcta gestión de desechos, promoviendo así la economía circular (Climent, 2025). Por tal motivo no debemos minimizar las consecuencias negativas que conlleva una práctica deficiente o la falta de tal, ya sea por el descuido de la sociedad, considerando que la mayor producción de residuos, en este caso sólidos, proviene del sector industrial y doméstico (Bastidas et al., 2023)

En este sentido, la industria de las curtiembres es una de las más contaminantes a nivel mundial. A pesar de ello, los esfuerzos de mitigación se han enfocado más en reparar los daños ocasionados que en implementar medidas preventivas (Buitrago & Romero, 2018). Para el 2020 se presentó que el 12,4% de empresas poseen licencia ambiental, permiso asociado al mayor impacto ambiental provocado por las empresas (INEC, 2020). Uno de los residuos más problemáticos en la industria es el sólido, ya que puede representar un riesgo ambiental significativo si no se gestiona adecuadamente (Bastidas et al., 2023). Sin embargo, este tipo de desechos también ofrece oportunidades para su aprovechamiento o transformación en productos con valor agregado (Maciej Serda et al., 2020) La acumulación inadecuada de estos

residuos afecta negativamente la calidad del suelo y representa un peligro para la vida silvestre y humana debido a su composición tóxica (Anchatipan, 2022).

En respuesta a esta problemática, existen productos que integran residuos industriales para mitigar la contaminación de estos y darles un nuevo uso, materiales compuestos. Conformados de dos o más materiales que sean distintos físicamente, separados mecánicamente pero que al mezclarse de una manera controlada nos resulte un material con propiedad óptimas. Dentro de la industria ha tomado relevante importancia por su versatilidad, ya que, una de sus ventajas es la posibilidad de introducir rigidez y resistencia a un producto además de reducir el peso de sus componentes (Hull, 2021). Para ello también se debe considerar el aspecto sostenible de un compuesto, una manera de realizar su evaluación sería a través del análisis del ciclo de vida del nuevo material, para determinar si en realidad es sostenible, considerando varios aspectos como la huella de carbono, la durabilidad, reciclabilidad, reutilización y las posibles opciones de fin de vida. Para garantizar que un material sea sostenible como estrategia se puede contemplar productos de consumo de larga durabilidad y evitar su reemplazo frecuente, explorando conceptos como el de la economía circular aprovechando el valor residual que pueden abarcar los subproductos industriales (Hubbe, 2023).

Las curtiembres al ser de las industrias que más residuos generan deben contemplar prácticas que traten de mejor manera sus desechos contaminantes, ya que se ha comprobado que la fabricación de cuero puede superar hasta 200 veces otros productos. El polvo residual de cuero del proceso de lijado es uno de los subproductos que tienen impactos negativos tanto en la salud de las personas, trabajadores en el caso de las curtidurías, por el hecho de estar compuesto por metales pesados como el cromo, la inhalación de este polvo puede generar problemas respiratorios como asma, fibrosis pulmonar y carcinoma broncogénico (Sarwar et al., 2018).

1.2.2 Árbol de problemas

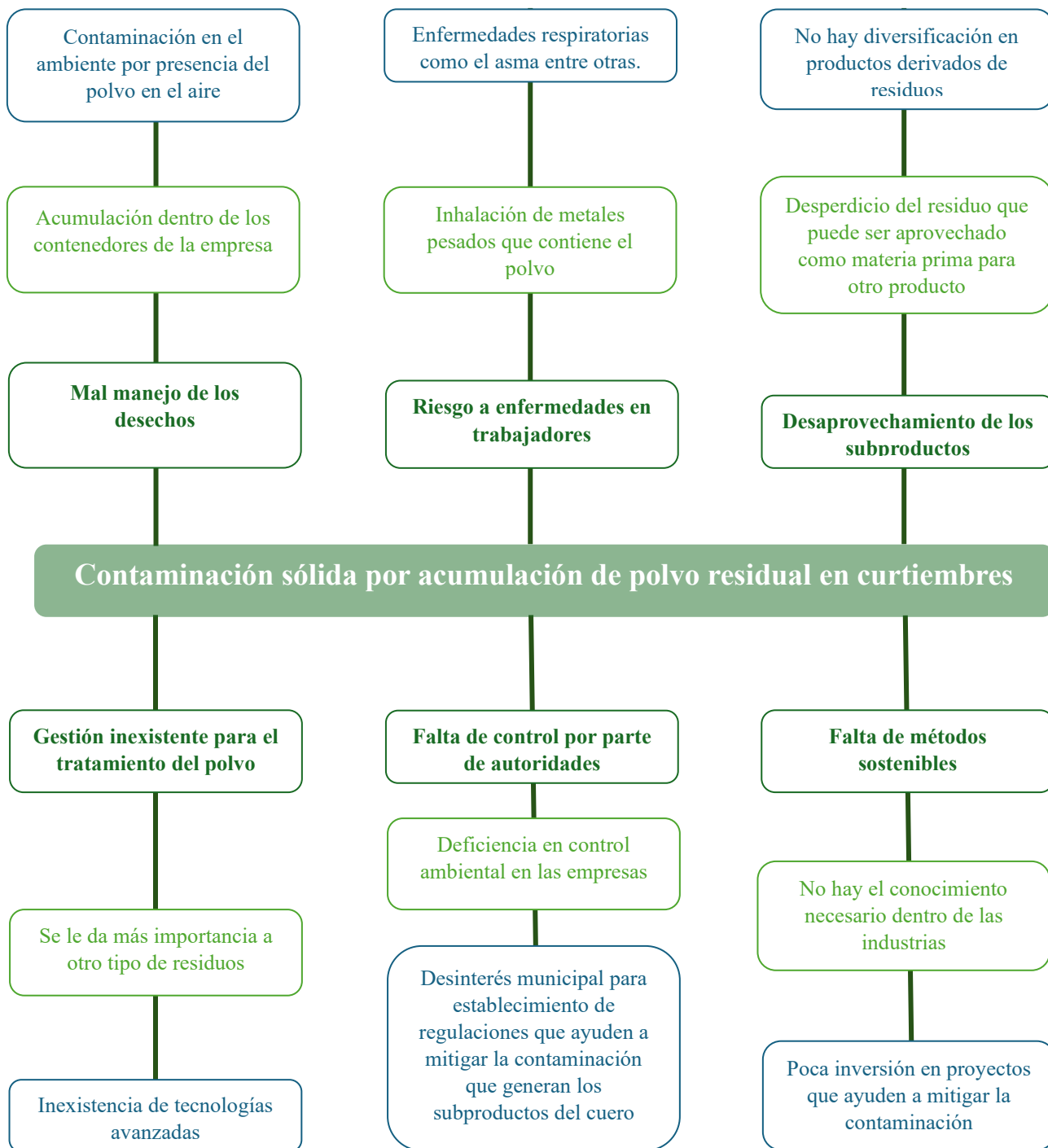


Figura 1. Contextualización de distintos factores causantes y efectos de la problemática

1.3 Justificación

La industria del cuero, en particular la curtiembre, representa una fuente significativa de contaminación ambiental a nivel global. En el proceso de curtido, se generan grandes cantidades de residuos sólidos, principalmente recortes y polvillos de cuero, que contienen sustancias químicas tóxicas. Estos residuos, al entrar en contacto con el suelo y el agua, contaminan los ecosistemas y ponen en riesgo la salud humana (FAO, s.f.). En la provincia de Tungurahua, Ecuador, este problema se agrava debido a que representa el 80% de producción de cuero a nivel nacional, al tener alrededor de 57 negocios distribuidas a lo largo de la provincia (Masabanda, 2021).

Además, para el año 2020 se realizó un estudio donde se evidenció que en Tungurahua solo el 2,17% son empresas grandes con la posibilidad de implementar tecnologías para el manejo de residuos, mientras que el 6,52% son medianas curtiembres y el 91,3% pequeñas, que por su bajo capital no serían capaces de implementar estas tecnologías (Anchatipan, 2022). La acumulación de estos residuos no solo genera un problema ambiental, sino que también representa una pérdida económica al no aprovechar un recurso potencial. Ante este escenario, la presente investigación propone desarrollar un material compuesto a partir del polvillo residual de cuero como una alternativa sostenible para la gestión de estos desechos, contribuyendo así a la mitigación del impacto ambiental de la industria del cuero y promoviendo una economía circular.

Se ha establecido una colaboración con Curtiduría Tungurahua, una empresa reconocida por sus diversos procesos de producción, que incluyen descarnadura, tundido, depilado, engrase, curtido, blanqueo, teñido y adobo de pieles y cueros (Masabanda, 2021). Esta investigación se centrará específicamente en el residuo sólido generado en el proceso de pulido del cuero, el polvillo de cuero. Dado el impacto ambiental de estos residuos y su potencial como materia prima para nuevos productos, se realizará un análisis exhaustivo de sus propiedades y composición química, con el objetivo de desarrollar un material compuesto a partir de este subproducto. Los resultados de esta investigación no solo beneficiarán a Curtiduría Tungurahua, sino que servirán como modelo para otras curtiembres en la provincia y

a nivel nacional, promoviendo una gestión más sostenible de los residuos en la industria del cuero.

Los materiales compuestos ofrecen una versatilidad sin igual al permitir combinar las propiedades de diferentes materiales para obtener un nuevo material con características superiores, revolucionando sectores clave (Universidad UDAX, 2023). Esta capacidad de 'diseñar' materiales a medida ha impulsado su creciente adopción en diversas industrias, especialmente en la construcción, donde se utilizan para crear estructuras ligeras y resistentes como paneles sándwich, vigas y columnas. La ingeniería estructural juega un papel fundamental en el diseño y análisis de estos materiales, proporcionando herramientas analíticas y experimentales para predecir su comportamiento y optimizar su diseño. Sin embargo, la elección del enfoque más adecuado dependerá de la complejidad del material compuesto y de los recursos disponibles. A medida que la tecnología avanza, se están desarrollando nuevos métodos de fabricación y caracterización, lo que permite crear materiales compuestos cada vez más sofisticados y adaptados a diversas aplicaciones en la industria (Phiri et al., 2024).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Desarrollar un material compuesto a partir del polvillo residual de cuero para la gestión de desechos en la industria de curtiembres

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar las propiedades físicas y químicas del polvillo residual de cuero en la curtiduría Tungurahua
- Analizar el manejo de desechos en la curtiduría Tungurahua y su impacto ambiental.
- Obtener un material compuesto a partir del polvillo residual de cuero

- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas del material, así como su aplicación en el Diseño de Productos.

1.5 Antecedentes de investigación

En los últimos años la industria del cuero ha crecido significativamente, tanto en Europa y Asia como en Latinoamérica, siendo de las industrias más contaminantes (Bastidas et al., 2023.). En Ecuador se procesan alrededor de 6.9 millones de toneladas de pieles y cueros, mientras que en la provincia de Tungurahua se encuentra el 80% de las curtiembres del país y estas generan aproximadamente un 85% de desechos residuales, los cuales representan un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente (La Hora, 2024). Ya que cada uno de sus procesos productivos generan gran cantidad de desechos sólidos como wet-blue, carnazas, restos de piel, polvo de pulido, etc. (Dayana Anchatipán Bastidas & Nelly Flores Tapia, 2023, p. 71). Este último, a pesar de su potencial contaminante, ha sido subestimado en aspectos de gestión y reutilización.

La ausencia de una adecuada gestión de este residuo ha ocasionado exposiciones involuntarias, como el contacto directo con el polvillo, el cual contiene compuestos químicos peligrosos. Estos contaminantes pueden provocar afecciones respiratorias de diversa gravedad, desde afecciones leves hasta casos severos (Silva & Salinas Morales, 2022).

Como se observa en la **Figura 2**, donde en la curtiduría Tungurahua han implementado máquinas compactadoras para el polvo residual generado por el proceso de lijado de cuero. Este proceso permite la obtención de cilindros compactos con un diámetro de 10 cm y una profundidad variable desde 1,7 y 4,5 cm, siendo transportados por medio de canaletas hacia contenedores. En la **Figura 3**, se muestra como los cilindros son almacenados en contenedores comunes para finalmente ser llevados al relleno municipal.



Figura 2. Máquina compactadora de polvo de lijado en Curtiduría Tungurahua



Figura 3. Almacenamiento de cilindros do polvo compacto

El polvillo residual de cuero del lijado actualmente ha sido identificado como una fuente de alta contaminación del suelo y aire, por el hecho de estar compuesto de metales pesados. Este residuo contiene cromo trivalente (Cr (III)) y cuando se oxida por ciertas condiciones se convierte a cromo hexavalente (Cr (VI)), siendo altamente tóxico. Resaltando que al ser incinerado o a disposición de rellenos sanitarios estas prácticas no mitigarían su impacto ambiental (Ulfat et al., 2023a). En la **Figura 4** se presenta los resultados del reciclaje de los residuos en el proceso de curtido y post curtido.

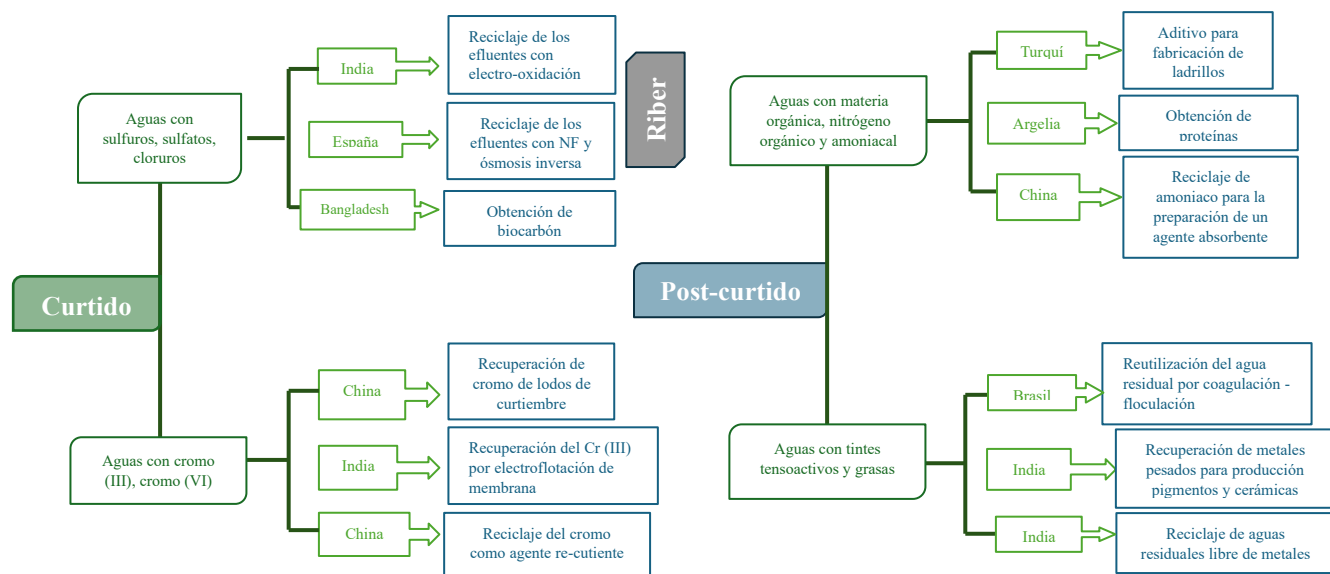


Figura 4. Productos resultantes del reciclaje de diversos residuos generados durante el proceso de curtido.

A nivel global, diversos estudios han implementado estrategias para el aprovechamiento de este residuo, como muestra la **Tabla 1** presenta investigaciones que han abordado la problemática, proponiendo distintas alternativas para tratar el polvo residual de cuero y otros residuos.

Tabla 1. Antecedentes de investigaciones similares para tratar el polvo residual.

Ubicación Geográfica	Tema	Producto obtenido
Bangladesh	Leather buffing dust in brick production: Solid waste management in tanneries	Ladrillos(Milu et al., 2022)
Colombia	Desarrollo de un nuevo material a partir de la transformación de residuos sólidos provenientes del	Piso para gimnasios (Juan Esteban Arias Valencia, 2021)

	sector marroquino y la fabricación de calzado.	
Ecuador	Reutilización de Remanentes de Cuero como un Aporte en el Ecodiseño de Mobiliario para el Centro Cultural Universitario de la Universidad Técnica De Ambato	Ecodiseño de mobiliario(Núñez Núñez, 2022)
Pakistán	Reuse of Buffing Dust-Laden Tanning Waste Hybridized with Poly- Styrene for Fabrication of Thermal Insulation Materials	Material compuesto para el aislamiento térmico(Ulfat et al., 2023a)
España - Turquía	Leather Waste to Enhance Mechanical Performance of High-Density Polyethylene	Polietileno de alta densidad(Kiliç et al., 2020)

Para el caso de Bangladesh, la investigación se centró en la incorporación del polvo residual en la fabricación de ladrillos. Se partió por la caracterización de los dos elementos para comprender cada una de sus propiedades físicas y químicas y poder determinar su compatibilidad para su mezcla. De tal manera se pueda evaluar su impacto ambiental para la medición de residuos que genere la experimentación. Al obtener los ladrillos con la mezcla adecuada se procede a evaluarlos. Se aplicaron ensayos ambientales como USEPA, empleado para el Procedimiento de Lixiviación Característica de Toxicidad y el método NEN, llevados a prueba de lixiviación en tanques neerlandeses. Obteniendo como resultado un producto con mejores propiedades físico, mecánicas y ambientales, permitiéndole tener una mayor resistencia a la compresión (Milu et al., 2022)

Mientras que en Colombia, se presenta inicialmente el problema ambiental generado por el desecho de residuos en la industria del cuero, donde a partir de estos

de todo tipo, ya sean remanentes, polvo residual de cuero, se han experimentado con varios tipos de residuos y aglutinantes para la creación de material compuesto donde han sido caracterizados para validar sus propiedades, permitiendo así definir un producto idóneo según sus propiedades, en este caso se ha propuesto suelos de gimnasios destacado por su rentabilidad en el mercado (Juan Esteban Arias Valencia, 2021).

En Ecuador se han investigado sobre los remanentes de cuero y los nuevos usos que se los puede dar en el mercado y ser competitivos con productos ya existentes, direccionados específicamente al mobiliario a través del ecodiseño, prolongando su ciclo de vida gracias a las nuevas características del producto (Núñez Núñez, 2022)

Para el año 2023 en Pakistán de igual manera se abordó el tema del impacto ambiental generado por las industrias del cuero y la contaminación que genera el polvo residual. Como propuesta a mitigar este residuo han desarrollado un material compuesto a partir de poliestireno con polvo residual y un agente espumante para crear un aislante térmico, obteniendo buenos resultados a través de pruebas fisicoquímicas. Incentivando a una economía circular mediante la recuperación de recursos para darle un nuevo uso (Ulfat et al., 2023a).

Finalmente, en España y Turquía se llevó a cabo un trabajo investigativo sobre el potencial del polvo de cuero pulido y su uso como relleno en una matriz de polietileno de alta densidad, se evaluaron las propiedades mecánicas de cada compuesto, siendo sometidas a ensayos de tracción y módulo de Young de la matriz, obteniendo propiedades similares al PP. Además de haber sido sometidos a una serie de ciclos de reciclaje de circuito cerrado para determinar su reciclabilidad y un bajo coste (Kiliç et al., 2020).

De acuerdo con (Rognoli et al., 2022) el desarrollo de proyectos en el área de diseño que utilizan como base residuos orgánicos y o materiales con organismos vivos pueden ser trascendentales para una realidad donde haya un equilibrio entre la naturaleza y el humano. Asimismo, transformar los residuos de manera creativa es una nueva alternativa al reciclaje convencional, ya que, permite una menor explotación de

recursos vírgenes para el diseño y fabricación de nuevos productos. Mientras que (Bazoberri, 2021) menciona la importancia en la investigación y obtención de nuevos materiales, señalando que tiene su margen de complejidad, por lo que es necesaria una comunicación entre la ciencia y el diseño industrial que permite el desarrollo responsable de nuevos materiales. Por lo que existen varios desafíos para el desarrollo de un material, como tener un diseño que sea completamente reciclable y libre de subproductos tóxicos, también los centros de fabricación locales, no siempre se contara con la tecnología adecuada para el análisis idóneo del ciclo de vida de un nuevo producto (Dumée, 2022). Como los materiales compuestos, que aún siguen siendo un reto en el aspecto de reciclaje, por su composición homogénea, lo que llevarlos a una economía circular resulta difícil, sin embargo, existen pocas estrategias que buscan que estos compuestos preserven su funcionalidad, haciéndolos duraderos por el mayor tiempo posible (Joustra et al., 2021). Es así como uno de los enfoques de diseño sostenible más influyentes ha sido el modelo “Cradle to Cradle” propuesto por William McDonough y Michael Braungart. Donde plantean que se debe diseñar pensando en el inicio y final de los productos, concepto analizado desde un enfoque a la naturaleza, con el fin de imitar su ciclo de vida, es decir, volver al sistema como nutrientes biológicos o materiales técnicos reutilizables, a diferencia de un modelo lineal. Inclusive acabar con la obsolescencia programada, mediante la reutilización de materiales para nuevos productos (William McDonough & Michael Braungart, 2005)

En concordancia con estos planteamientos, la biomímesis ha surgido como una de las líneas más recientes dentro del desarrollo de materiales sostenibles, ya que propone repensar la forma en que se diseñan y utilizan los materiales tomando como referencia los sistemas naturales. Esta disciplina no solo ofrece inspiración formal, sino que promueve soluciones funcionales orientadas a la eficiencia energética, la reutilización de recursos y la regeneración del entorno. Tal como señalan (Goyes-Balladares et al., 2025), la aplicación de la biomímesis en el campo de la construcción permite desarrollar materiales y componentes que replican las propiedades adaptativas de organismos vivos, estableciendo un vínculo más estrecho entre tecnología, sostenibilidad y contexto local.

Desde esta perspectiva, los materiales compuestos también pueden ser comprendidos no únicamente como una solución técnica, sino como un medio para integrar residuos dentro de sistemas de diseño con enfoque circular, donde se revaloriza su origen, funcionalidad y destino final. Así, el diálogo entre teoría del diseño, ciencia de materiales y sostenibilidad establece un marco sólido para la exploración de nuevos materiales compuestos, especialmente aquellos que buscan responder a problemáticas sociales y ambientales concretas, como la gestión de residuos industriales o la creación de soluciones arquitectónicas ecoeficientes.

1.6 Fundamentación

1.6.1 Fundamentación legal

Es importante mencionar que la disposición final de residuos sólidos industriales no es la misma que de los residuos sólidos urbanos, los GADS municipales norman esta disposición según las normativas ambientales vigentes.

Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos

5.1 Los laboratorios que realicen los análisis de determinación del grado de contaminación de los desechos sólidos, deberán ser Laboratorios Acreditados por el organismo de acreditación ecuatoriano.

5.2 Para la realización de los análisis de los desechos sólidos, que sean exigidos a los usuarios, se deberán seguir las técnicas de la EPA “Test Methods for Evaluating Solid Waste – Physical/Chemical” en su más reciente edición.

Norma ISO 14001 – Sistemas de Gestión Ambiental (SGA)

Permite a las empresas demostrar el compromiso asumido con la protección del medio ambiente. A través de la gestión de los riesgos medioambientales asociados a la actividad desarrollada. Aplicando la metodología del ciclo PDCA (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar). (EUROFINS, 2024) Además, se deben considerar aspectos

ambientales dentro de la **norma ISO 14001** se pueden clasificar de manera general en las siguientes categorías:

- **Consumos de recursos:** las organizaciones con un Sistema de Gestión Ambiental **ISO 14001** deben controlar las cantidades consumidas y su evolución, así como tratar de reducir la cantidad necesaria de material por unidad de producto o utilizar opciones de materias primas más ecológicas.
- **Emisiones:** focos de emisión a la atmósfera, procedentes de combustión, u otras actividades industriales generadores de emisiones.
- **Vertidos:** en esta categoría se contemplan vertidos incontrolados producidos por accidentes y escapes, vertidos sanitarios, aguas pluviales o aguas residuales procedentes del proceso industrial.
- **Ruido y olores:** otro de los aspectos ambientales que las organizaciones deben identificar y evaluar.
- **Residuos:** engloba todos los residuos generados en el proceso productivo, los residuos generados en el proceso, así como el propio producto una vez finaliza su vida útil. Además, hay que distinguir entre residuos peligrosos y no peligrosos.

CAPÍTULO VI GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS NO PELIGROSOS, Y DESECHOS PELIGROSOS' Y/O ESPECIALES

Art. 55 Normas técnicas nacionales para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales.- La Autoridad Ambiental Nacional, en el ámbito de sus competencias, establecerá las normas y parámetros técnicos para la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales, desde la generación, hasta la disposición final, para mantener los estándares que permitan la preservación del ambiente, la gestión adecuada de la actividad, el control y sanción de ser del caso.

Art. 58 Prohibiciones. - Sin perjuicio a las demás prohibiciones estipuladas en la normativa ambiental vigente, se prohíbe

a) Disponer residuos y/o desechos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales sin la autorización administrativa ambiental correspondiente.

b) Disponer residuos y/o desechos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales en el dominio hídrico público, aguas marinas, en las vías públicas, a cielo abierto, patios, predios, solares, quebradas o en cualquier otro lugar diferente al destinado para el efecto de acuerdo a la norma técnica correspondiente.

c) Quemar a cielo abierto residuos y/o desechos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales.

Art. 53 Políticas generales de la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos, desechos peligrosos y/o especiales. - Se establecen como políticas generales para la gestión integral de estos residuos y/o desechos y son de obligatorio cumplimiento tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles de gobierno, como para las personas naturales o jurídicas públicas o privadas, comunitarias o mixtas, nacionales o extranjeras, las siguientes:

a) Manejo integral de residuos y/o desechos

b) Responsabilidad extendida del productor y/o importador

c) Minimización de generación de residuos y/o desechos

d) Minimización de riesgos sanitarios y ambientales

e) Fortalecimiento de la educación ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación con el manejo de los residuos y/o desechos

f) Fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y/o desechos, considerándolos un bien económico, mediante el establecimiento de herramientas de aplicación como el principio de jerarquización:

1. Prevención

2. Minimización de la generación en la fuente

3. Clasificación

4. Aprovechamiento y/o valorización, incluye el reuso y reciclaje

5. Tratamiento

6. Disposición Final.

g) Fomento a la investigación y uso de tecnologías que minimicen los impactos al ambiente y la salud

h) Aplicación del principio de prevención, precautorio, responsabilidad compartida, internalización de costos, derecho a la información, participación ciudadana e inclusión económica y social, con reconocimientos a través de incentivos, en los casos que aplique; **i)** Fomento al establecimiento de estándares mínimos para el manejo de residuos y/o desechos en las etapas de generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final

j) Sistematización y difusión del conocimiento e información, relacionados con los residuos y/o desechos entre todos los sectores

k) Aquellas que determine la Autoridad Ambiental Nacional a través de la norma técnica correspondiente.

1.6.2 Fundamentación Axiológica

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008 Última modificación: 25-ene.-2021

TÍTULO II DERECHOS

Capítulo primero: Principios de aplicación de los derechos

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados

Art. 32.- La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación,

la educación, la cultura física, trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir.

Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas:

2. El derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad y otros servicios sociales necesarios.

15. El derecho a desarrollar actividades económicas, en forma individual o colectiva, conforme a los principios de solidaridad, responsabilidad social y ambiental.

26. El derecho a la propiedad en todas sus formas, con función y responsabilidad social y ambiental. El derecho al acceso a la propiedad se hará efectivo con la adopción de políticas públicas, entre otras medidas.

27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Capítulo noveno: Responsabilidades

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible.

Libro-VI-Calidad-Ambiental

Capítulo vi: gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, y desechos peligrosos' y/o especiales

Art. 51 Prioridad Nacional. - El Estado Ecuatoriano declara como prioridad nacional y como tal, de interés público y sometido a la tutela Estatal, la gestión integral de los residuos sólidos no peligrosos y desechos peligrosos y/o especiales. También implica, la responsabilidad extendida y compartida por toda la sociedad, con la finalidad de contribuir al desarrollo sustentable a través de un conjunto de políticas intersectoriales nacionales, en todos los ámbitos de gestión.

SECCIÓN I GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS Y/O DESECHOS SÓLIDOS NO PELIGROSOS

Art. 59 De la gestión integral de residuos y/o desechos sólidos no peligrosos. La gestión integral constituye el conjunto de acciones y disposiciones regulatorias, operativas, económicas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación, que tienen la finalidad de dar a los residuos sólidos no peligrosos el destino más adecuado desde el punto de vista técnico, ambiental y socio-económico, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos de tratamiento, posibilidades de recuperación y aprovechamiento, comercialización o finalmente su disposición final. Está dirigida a la implementación de las fases de manejo de los residuos sólidos que son la minimización de su generación, separación en la fuente, almacenamiento, recolección, transporte, acopio y/o transferencia, tratamiento, aprovechamiento y disposición final. Una gestión apropiada de residuos contribuye a la disminución de los impactos ambientales asociados a cada una de las etapas de manejo de éstos.

Art. 64 Del Generador. - Todo generador de residuos y/o desechos sólidos no peligrosos debe:

a) Tener la responsabilidad de su manejo hasta el momento en que son entregados al servicio de recolección, llevados a puntos verdes o depositados en sitios autorizados que determine la autoridad competente.

b) Tomar medidas con el fin de reducir, minimizar y/o eliminar su generación en la fuente, mediante la optimización de los procesos generadores de residuos.

c) Realizar separación y clasificación en la fuente conforme lo establecido en las normas específicas.

d) Almacenar temporalmente los residuos en condiciones técnicas establecidas en la normativa emitida por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 77 Del aprovechamiento.- En el marco de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, es obligatorio para las empresas privadas y municipalidades el impulsar y establecer programas de aprovechamiento mediante procesos en los cuales los residuos recuperados, dadas sus características, son reincorporados en el ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio del reciclaje, reutilización, compostaje, incineración con fines de generación de energía, o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos. El aprovechamiento tiene como propósito la reducción de la cantidad de residuos sólidos a disponer finalmente; con lo cual se reducen costos y se aumenta la vida útil de los sitios de disposición final

Art. 78 Del tratamiento. - Los generadores, empresas privadas y/o municipalidades en el ámbito de sus competencias son responsables de dar un adecuado tratamiento a los residuos sólidos no peligrosos. El tratamiento corresponde a la modificación de las características de los residuos sólidos no peligrosos, ya sea para incrementar sus posibilidades de reutilización o para minimizar los impactos ambientales y los riesgos para la salud humana, previo a su disposición final. Para el tratamiento de residuos y/o desechos sólidos no peligrosos se pueden considerar procesos como: mecánicos, térmicos para recuperación de energía, biológicos para el compostaje y los que avale la autoridad ambiental (Libro-VI-Calidad-Ambiental, 2015)

1.6.3 Fundamentación ontológica

Para el desarrollo del proyecto también se deben considerar aspectos ambientales establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Nuestra investigación estaría direccionada por los objetivos; 9, 11, 12 y 13. Los cuales indican:

- ODS 9, Industrias, Innovación e Infraestructura: Para un desarrollo económico los avances tecnológicos son primordiales para la solución de desafíos económicos y ambientales. Es por ello por lo que, al estar desarrollando un material que ayude a mitigar la contaminación sólida puede resultar una solución innovadora y sostenible en los sectores industriales involucrados.

- ODS 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles: nos señala la importancia de reducir el impacto ambiental negativo que pueden generar los desechos municipales y de otro tipo. En consecuencia, nuestra investigación permitiría a las industrias a tener mayor conocimiento sobre el manejo del polvo residual de cuero y el aprovechamiento de este.

- ODS 12, Producción y Consumo Responsables: Menciona la trascendencia que las industrias tengan una educación ambiental, donde se traten temas como el reciclaje, reutilización, reducción de desechos y la gestión de los recursos naturales. Lo que estaríamos logrando es la adopción de prácticas sostenibles dentro de la industria incorporando un fin útil para el residuo.

- ODS 13, Acción por el Clima: nos hace un llamado al compromiso a mejorar la capacidad humana e institucional para contribuir con la mitigación del cambio climático, promoviendo planes para la planificación y gestión eficaz en países menos adelantados. Así que, pretendemos ayudar a que el impacto ambiental disminuya, de tal manera que al determinar el nuevo material se pueda reducir el consumo de materiales vírgenes. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, n.d.)

Mientras que, el Plan de desarrollo para el nuevo Ecuador, menciona la economía circular bajo principios del diseño para frenar los residuos y la contaminación, manteniendo productos y materiales en uso, y regenerando los sistemas naturales, esto se evidencia mediante la huella ecológica y la biocapacidad dentro del

país. En Ecuador la gestión de residuos y desechos peligrosos o especiales, deben ser tratados a través de gestores ambientales autorizados por la Autoridad Ambiental Nacional, ya sean personas naturales o jurídicas, públicas, privadas o mixtas, nacionales o extranjeras, que les es permitido la implementación de gestión integral dentro del territorio ecuatoriano, aportando al EJE Infraestructura, Energía y Medio Ambiente a la prevención de los impactos, daños ambientales y riesgos a la salud humana, asociados a cada una de las fases: almacenamiento, transporte, eliminación y disposición final, lo cual es sumamente importante (Guajala et al., 2016; Secretaría Nacional de Planificación, 2024).

1.6.4 Análisis PESTEL

Análisis PESTEL	Factores	Muy negativo (-2)	Negativo (-1)	Neutro (0)	Positivo (1)	Muy positivo (2)
Político	Políticas públicas sobre el manejo de residuos				1	
	Responsabilidad ambiental en procesos productivos		-1			
	Análisis de desechos sólidos				1	
Económico	Inversiones para la producción de bienes sostenibles				1	
	Estrategias de economía circular				1	
	Disminución de consumo de recursos no renovables				1	
Social	Producción de bienes con responsabilidad social				1	
	Promover una cultura circular.					2
	Apoyar al sector productivo a identificar estrategias circulares.			0		
Tecnológico	Transformación del polvillo de cuero		-1			
	Uso de tecnologías ambientalmente limpias				1	
	Disponibilidad de infraestructura para ensayos del material					2
Ecológico	Residuos como recursos reaprovechables				1	
	Producción de bienes con responsabilidad ambiental				1	
	Recolección de residuos responsable				1	
Legal	Garantizar el acceso a información clara y concisa sobre productos y servicios.		-1			
	Normas para la recuperación de desechos sólidos				1	
	Gestión integral de residuos				1	
TOTAL		0	-3	0	12	4
		0	-8,33	0	33,33	11,11
						Positivo
						Neutro
						Negativo

Tabla 2. Análisis PESTEL

Según la fundamentación anterior, se ha realizado un análisis PESTEL que nos permite una mejor comprensión en varios factores que afectan a nuestra investigación, llegando la conclusión de que tiene un margen del 44,44 % de positividad ante un 8,3% de negatividad como se evidencia en la **Tabla 2**, permitiéndonos el avance para las siguientes fases del proyecto.

1.6.5 Análisis FODA

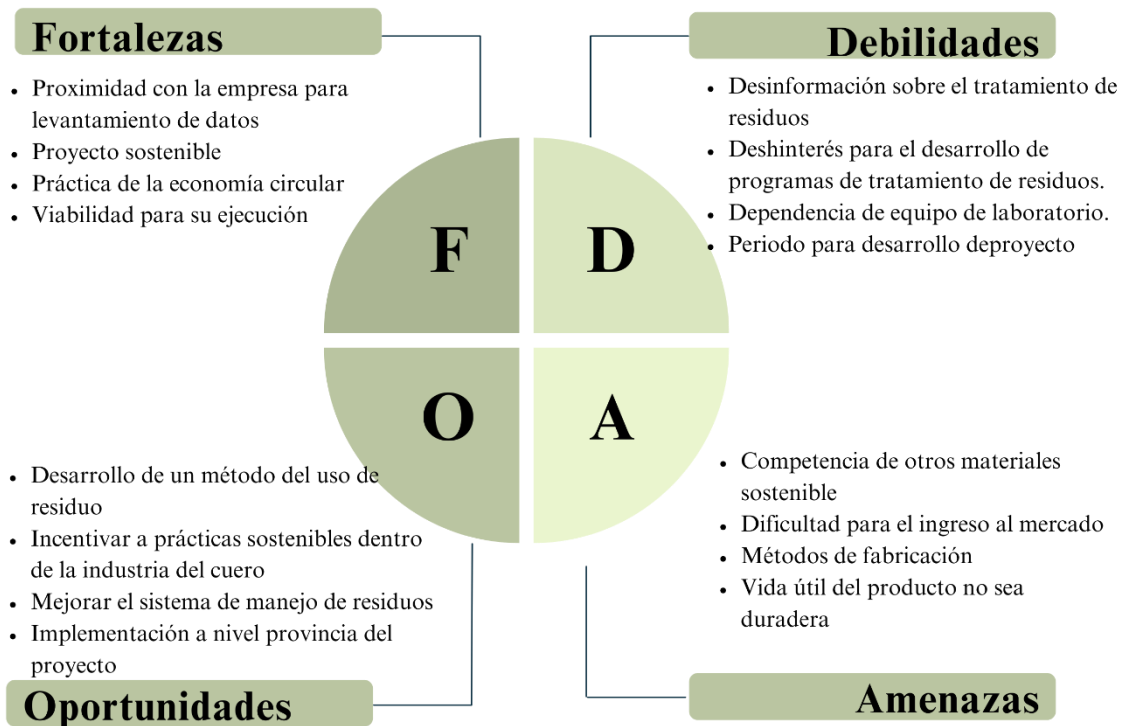


Figura 5. Análisis FODA

Para el análisis FODA se consideraron aspectos que influyen tanto desde la parte institucional como empresarial, además de como el investigador llevará a cabo el proyecto bajo estas circunstancias.

1.7 Categorías fundamentales

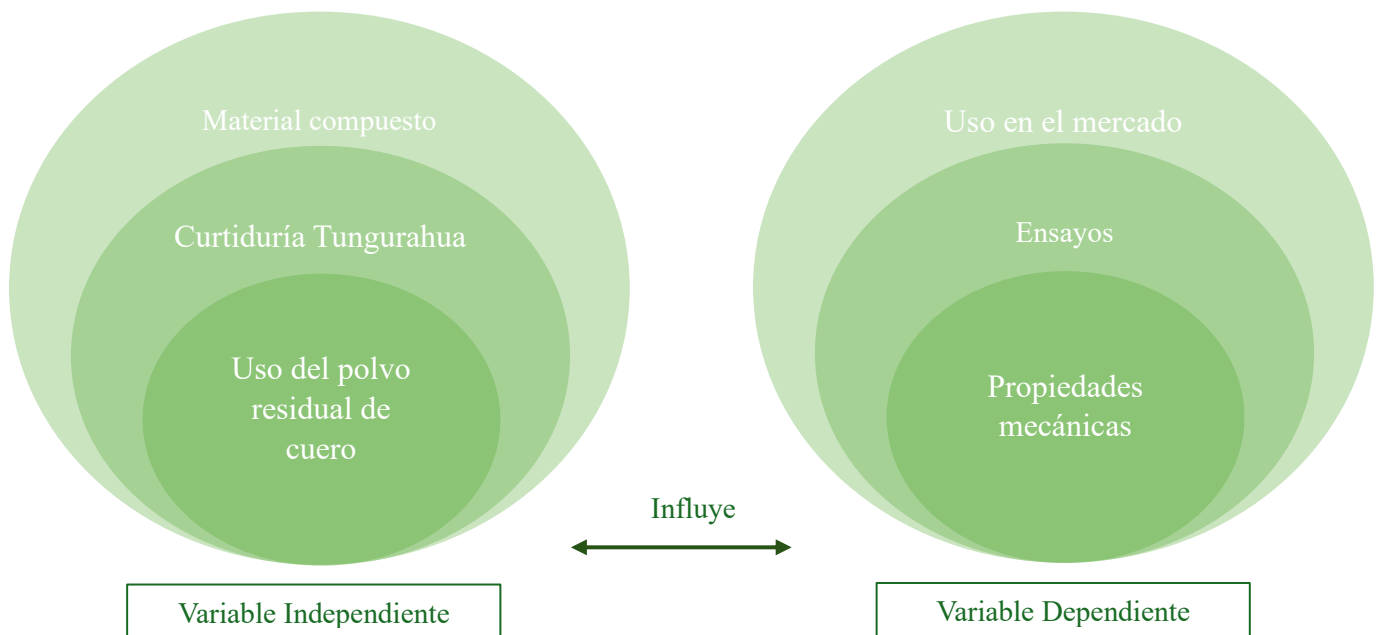


Figura 6. Categorías fundamentales

1.7.1 Redes conceptuales

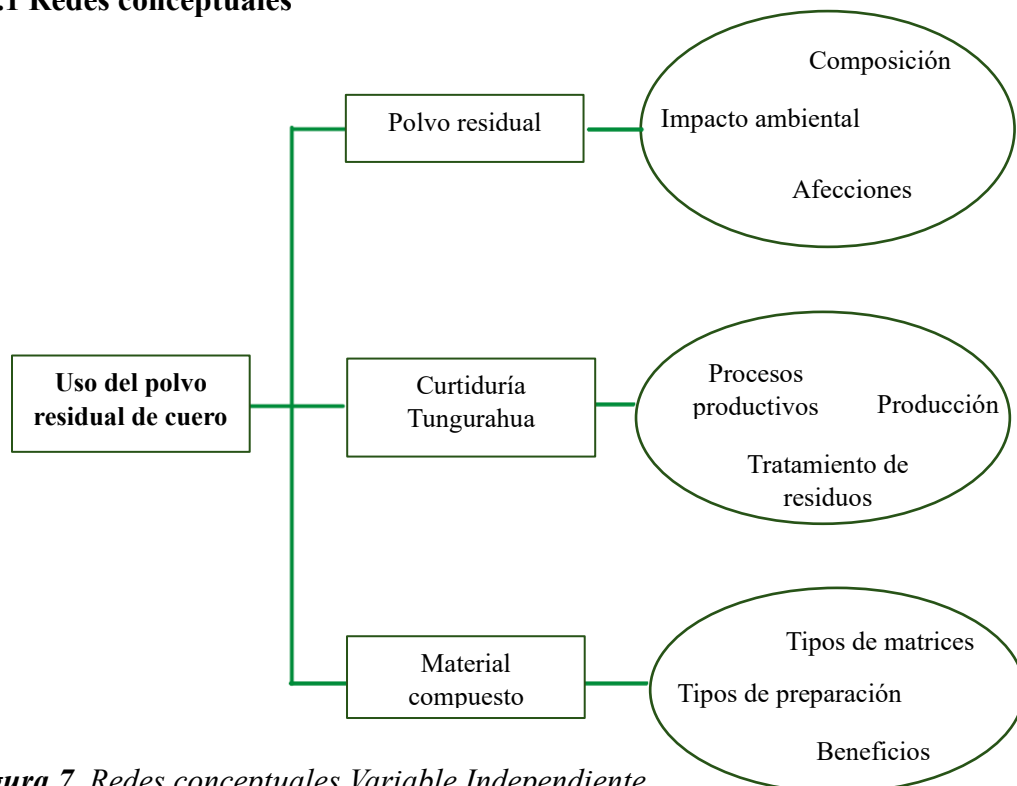


Figura 7. Redes conceptuales Variable Independiente

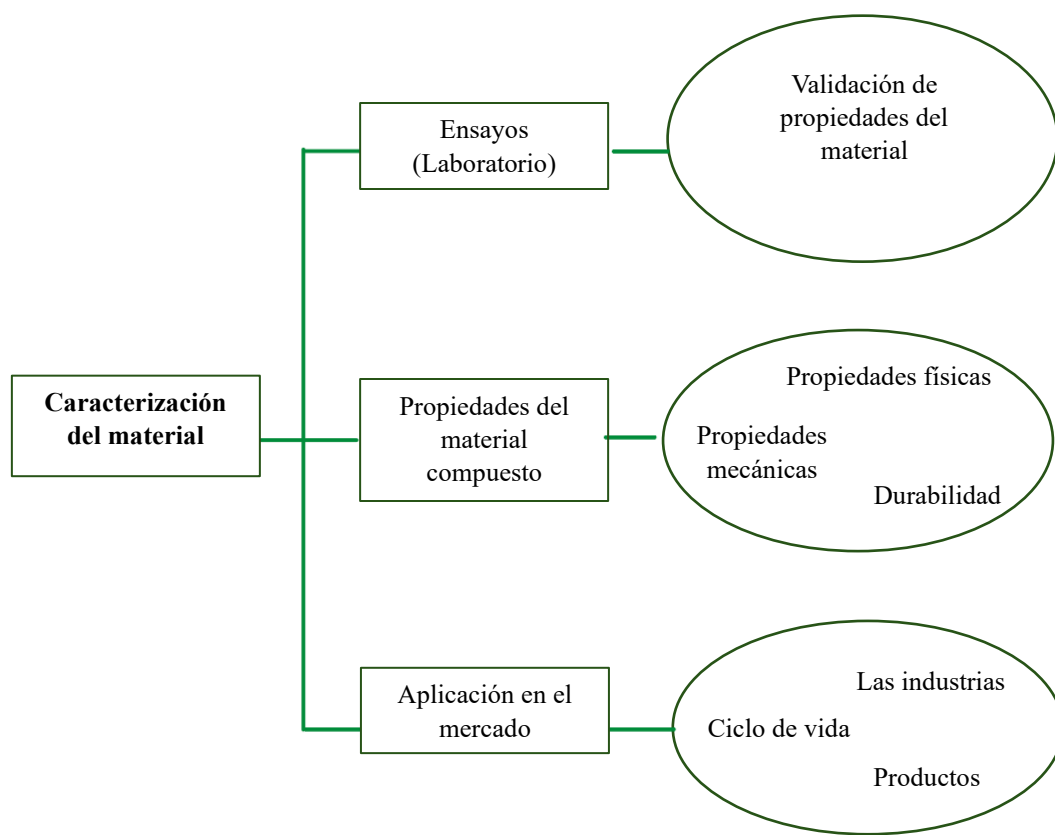


Figura 8. *Redes conceptuales Variable Independiente*

1.7.2 Fundamentación teórica variable independiente

Uso del polvo residual de cuero

Según (Guajala et al., 2016), en Tungurahua de 20 curtiembres solo el 85% realiza un tratamiento primario de residuos, mientras que el 10% consideradas las grandes industrias se encargan de tratamientos biológicos y completos. Teniendo el restante sin tratamiento alguno. Considerando que generan grandes cantidades de residuos sólidos curtidos y sin curtir, habiendo restos de piel, carnazas, wet-blue y entre ellos nuestro caso de estudio el polvo de lijado. Siendo desechados a los rellenos municipales como estipula la normativa. Sin embargo, representando un alto índice de contaminación del suelo (Bastidas Dayana Mishel, 2022). Sin embargo, en datos más recientes mencionan que dentro de la provincia existe alrededor del 80% de curtiembres que no cuentan con planes de tratamiento de aguas residuales, lo que nos

lleva a reconocer que probablemente no existan tratamientos para el resto de los residuos (Primicias, 2025). Por tal motivo nos lleva a la búsqueda de soluciones para la problemática, lo cual se ha determinado darle un uso útil a este residuo. Partiendo con su desarrollo, primero debemos comprender la composición del polvo para asimilar el impacto ambiental que causa en el presente. Cuyo polvo ha sido caracterizado según la normativa a través de un laboratorio acreditado, donde se evaluaron parámetros como humedad, contenido proteico, cromo, pH y grasas según la se observa en la **Tabla 3**.

Obteniendo como resultado un bajo contenido de aceites y grasas sugiriendo escasos de lípidos lo cual permite una mejor compatibilidad con otros materiales. Resultando beneficios, ya que, los lípidos se caracterizan por ser hidrofóbicos, esto quiere decir que suelen ser insolubles en agua debido a su estructura al estar en un medio acuoso este se suele alejar de las moléculas de agua(Díaz Velásquez et al., 2021) . Por lo que, ante una mayor cantidad de este elemento en el polvo residual de cuero permite una integración más homogénea ya sea con el elemento que se seleccione posteriormente para su composición como nuevo material.

Asimismo, se encontró una cantidad mínima de humedad, lo cual, nos da prácticamente un material seco con el que trabajar, permitiéndonos condiciones favorables para su almacenamiento y durabilidad, ya que ante una mayor presencia de humedad esta puede ocasionar una pérdida de módulos de elasticidad afectando además a su densidad y porosidad provocando un mayor factor de degradación (Karunarathne et al., 2024). Por lo que, una de las ventajas del polvo al no contener un alto nivel de humedad permite una optimización energética durante su fabricación.

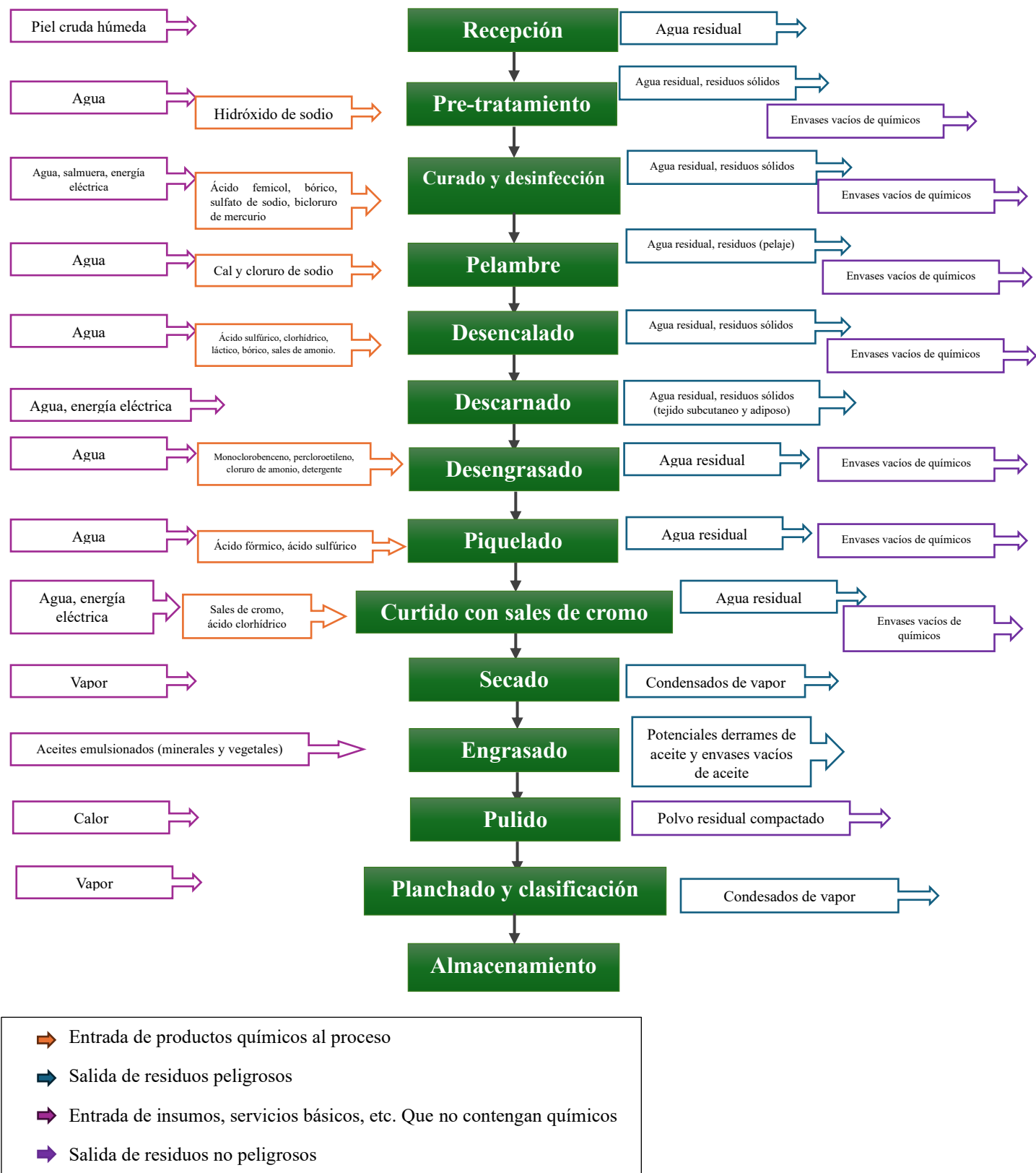
Además, se identificó una alta presencia de proteínas dentro del polvo como el colágeno, característico por su propiedad filmógena, es decir, tiene la capacidad de formar en superficies películas delgadas, considerando que se pueden encontrar varios tipos de colágeno dependiendo su familia, funcionalidad y composición; colágeno fibrilares (FACIT), colágeno de triple hélice interrumpida (MACIT), colágeno con múltiples dominios de triple hélice e interrupciones (MULTIPLEXINAS), colágeno de

transmembrana y fibras de anclaje (Miquinga, 2024). Esto quiere decir que este porcentaje de colágeno presente en el polvo puede influir en la porosidad y textura del producto.

Mientras que, se encuentra un alto nivel de cromo en el polvo, siendo un factor crítico al ser el más contaminante de entre todos los elementos que componen al polvo. Debido a que se usa en altas cantidades para el curtido de la piel, por su aporte a la estabilidad fibrosa de la piel (HERNÁNDEZ, 2021). Siendo el cromo trivalente (Cr III) el más utilizado por su impedimento a la degradación de las pieles. Como se puede observar en la **Figura 9**. El curtido de pieles consiste en varios procesos donde se encuentra la presencia de agentes químicos que generan toxicidad (Ministerio del Ambiente, 2012).

RESULTADOS				
PARÁMETRO	MÉTODO/REFERENCIA	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE
ACEITES Y GRASAS	Método interno epa 9071b	m g/kg	1.0	---
HUMEDAD	Método interno sm 2540 g, ed. 23, 2017	%	0.16	---
PROTEÍNAS TOTALES	PEE/1A/01/INEN ISO 20483	%	51.41	---
NITRÓGENO TOTAL	KJELDAHL	%	8.23	---
CROMO TOTAL	Standard Methods 311B modificado	mg/kg	524.48	---
POTENCIAL HIDRÓGENO	PE-01 SM 4500H+ B, Ed. 24, 2023	upH	3.19	---

Tabla 3. Resultados de caracterización de polvo residual proveniente de la Curtiduría Tungurahua. Fuente:(Alvarado, 2025)



Por tal motivo el polvo residual de cuero es considerado un subproducto altamente contaminante, eso se debe a que los métodos tradicionales para su eliminación, ya sea por incineración o llevados a los vertederos, estas prácticas no son eficientes para mitigar la toxicidad del residuo. Resultando perjudicial para la salud, especialmente por su alto contenido de cromo producido durante el proceso de curtido. Siendo de este proceso solo un 20% de la materia prima a un material útil, mientras que el polvo residual y virutas comprenden el 35% y 40% de residuos generados en las curtiembres. A causa de que este desecho sea incinerado este suele liberar gases contaminantes como NO_x (óxidos de nitrógeno) y SO_x (óxidos de azufre), intensificando la contaminación atmosférica. Asimismo, si son llevado a los vertederos municipales, estos desechos suelen generar una filtración de sustancias químicas, contaminando el suelo y agua (Ulfat et al., 2023). Si se observa la **Figura 10** con claridad los distintos niveles de impacto ambiental generados por el proceso de curtido, permitiendo una mejor comprensión de los factores más afectados por el proceso.

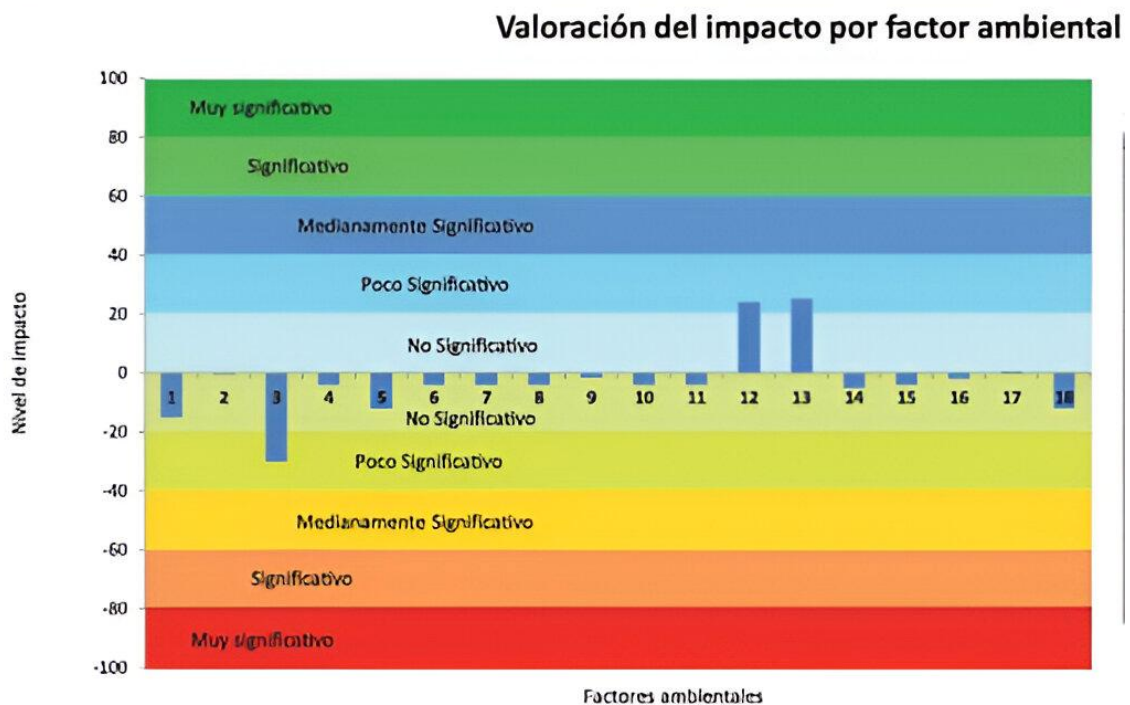


Figura 10. Representación de impacto ambiental producido por el proceso. Fuente: Ministerios del ambiente, Agua y Transición Ecológica (2013)

Agregando a lo anterior, si se contempla la **Tabla 4**, se evidencia que los valores de cromo presentes en el polvillo residual de cuero superan los límites máximos permitidos establecidos por el Ministerio del Ambiente de Ecuador para residuos industriales. Esta situación representa un riesgo ambiental significativo, especialmente en lo que respecta a la contaminación del suelo y su capacidad productiva, lo cual justifica la necesidad de implementar estrategias de valorización y reutilización segura de este tipo de residuo.

Tabla 4. *Calidad del suelo - Valores máximos permisibles. Adaptado de (Libro-VI-Calidad-Ambiental, 2015)*

Parámetro	Unidades	Remediación de suelos – Niveles establecidos			
		Uso del suelo			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
pH	-				
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4

Esto se debe a que en la actualidad el proceso que genera el polvo residual de cuero es lineal, como se muestra en la **Figura 11**.

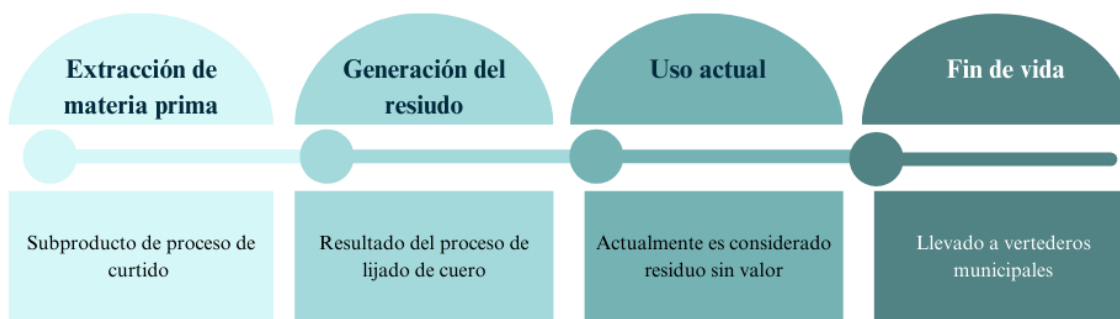


Figura 11. *Ciclo de vida del polvo residual de cuero*

Tal es el caso que al ser un proceso lineal y no darle un tratamiento adecuado al residuo, se ha comprobado mediante estudios que, al estar en contacto con este tipo de desechos, compuestos con metales pesados resultado de su proceso de curtido, puede ocasionar afecciones graves en la salud, como cáncer oral, faríngeo y laríngeo. Sobre todo, a trabajadores en la industria del cuero, ya que se han identificado un incremento significativo de riesgo de carcinoma de células escamosas faríngeo-relacionadas a la exposición del cuero (Radoï et al., 2019)

Curtiduría Tungurahua S.A

En la provincia de Tungurahua la industria del cuero es una de las más significativas dentro de la economía del país, cuyo proceso de curtido sigue una línea de etapas para la transformación de las pieles como se pudo observar en la **Figura 9**. Sin embargo, es durante la fase de lijado o pulido del proceso de acabado donde ocurre la generación del polvo residual de cuero. Este proceso se lleva a cabo con el fin de optimizar el grosor de la piel y mejorar la textura superficial, eliminando imperfecciones superficiales, obteniendo el polvo fino de cuero.

En la Curtiduría Tungurahua, se recopilaron datos durante un periodo de 10 días con el propósito de identificar las cantidades de generación del polvo residual, donde se observaron patrones operacionales en el área de lijado que nos permitieron determinar de mejor manera las cantidades. Primero debemos considerar que la producción puede variar según la temporada en la empresa, sabiendo que no hay fechas exactas, sin embargo, habrá periodos donde habrá material para exportación y distribución local. Sabiendo que al día la máquina trabaja alrededor de 16 horas, por lo que para un periodo normal de trabajo por la máquina pasa de 150 a 300 pieles por hora, además que la forma de recolección de este polvo es mediante conductos que lo transporta hacia máquinas compactadoras para formar cilindros de polvo residual y ser llevado de una mejor manera y mayor control hacia los vertederos.

Cabe mencionar que Curtiduría Tungurahua es una empresa que se preocupa en mantener un equilibrio con la naturaleza, es decir, que son conscientes de las

consecuencias que conlleva las prácticas en una curtiembre, es por ello, que se preocupan en tratar sus desechos de la mejor manera posible. Comenzando con tratamiento de agua, es la primera y única curtiembre del país en establecer una planta de tratamiento de aguas residuales, depurando el agua utilizada en cada uno de sus procesos con el fin de devolver a su cauce natural. Este tratamiento está compuesto por cuatro etapas:

1. Recuperación de sulfuro: el sulfuro proveniente del proceso de pelambre es eliminado al 100%, permitiendo su reutilización para el mismo proceso.
2. Recuperación de cromo: se extrae el 100% de cromo del proceso de curtido para posteriormente ser reutilizado para la fabricación de guantes.
3. Eliminación de sustancias orgánicas: colorantes, grasas y recurtientes del agua usada son removidos del proceso de curtido.
4. Purificación final: el agua resultante de las etapas anteriores es sometida al proceso de oxigenación previo a ser drenada.

También generan subproductos del proceso de cuatro procesos con el propósito de proveer materias primas a otras industrias, logrando una economía circular estos subproductos están comprendidos por:

1. Proceso de pelambre: de esta etapa se obtiene un fertilizante 100% orgánico para la industria agrícola.
2. Proceso de descarte y dividido: de este proceso se obtienen dos productos, la carnaza es utilizada para la industria de la gelatina, juguetes para mascotas y guantes industriales. Y sebo, se genera una harina apta para alimento de animales.
3. Proceso de curtido: de igual manera se generan dos productos. Colágeno del raspado para el uso en pegamentos y como aditivo para mejorar la elasticidad del concreto. Y el material residual del cuero semiterminado es utilizado para la retención de fluidos o sacos de boxeo.

4. Etapa de selección: las piezas que no están en condiciones óptimas son entregadas a artesanos locales para que no sean desechos. (Curtiduría Tungurahua S.A, n.d.).

Es por ello por lo que es notable el compromiso por parte de la empresa en buscar soluciones sostenibles para el tratamiento de los residuos generados por sus procesos productivos, como es evidente en el proceso de lijado del cuero aún existe un método convencional para su tratamiento según la normativa ambiental, que es ser llevada a los rellenos municipales. No obstante, la empresa cuenta con dos máquinas compresoras que por medio de conductos es transportado el polvo residual a estas máquinas para ser compactadas en pequeños cilindros de 10 cm aproximadamente **Figura 12**, con un peso variante entre los 40 a 90 gramos dependiendo el cuero como se muestra en la **Figura 13**, también la variación entre cilindros por el tipo de cuero **Figura 14**.



***Figura 12.** Diámetro de cilindro compactado.*

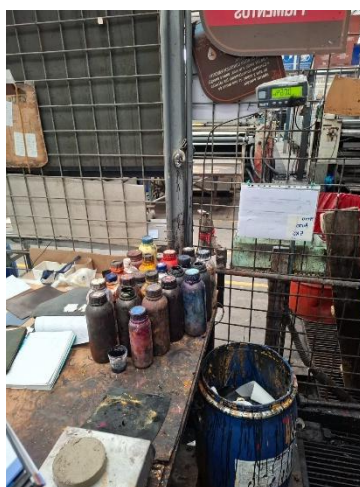


***Figura 13.** Peso de cilindro proveniente de la Curtiduría Tungurahua.*



Figura 14. Varianza entre cilindros dependiendo el cuero.

Esto nos permite tener un foco más amplio en cómo se puede tener provecho de los residuos industriales de las curtidurías, obteniendo subproductos que pueden servir para otras industrias, generando un menor impacto ambiental e incentivando a la práctica de la economía circular dentro de las empresas. Es por ello por lo que para el proyecto se ha decidido el desarrollo de un material compuesto por su viabilidad que este puede brindar a partir de este tipo de residuos que podemos obtener de una industria significativa dentro de la provincia y a nivel nacional.

Material Compuesto

Es la formación de dos o más materiales integrados por propiedades físicas o químicas que al unirse se produce un nuevo material con características diferentes a los elementos constituyentes, destacando sus propiedades de lo que son por separado. Para una mayor comprensión existen compuestos naturales que nos rodean como la madera, conformada por cadenas fibrosas de moléculas de celulosa y una matriz de lignina polimérica orgánica. O también el caso de los huesos, compuestos por hidroxiapatita, cristales orgánicos en una matriz de colágeno. Existen distintos materiales compuestos, desde los más simples a los más complejos. Suele ser

compuesto por un material base amalgama conocido también como matriz y un material de relleno o refuerzo, su presentación puede ser en forma de partículas, fragmentos, fibras y filamentos de un material natural o sintético. Mientras que las matrices se caracterizan por ser relativamente blandas con propiedades físicas y mecánicas como formalidad, ductilidad y conductividad térmica. Resultando un compuesto con mayor resistencia y rigidez que la matriz, por el hecho de soportar la carga que se aplicó al material (D. K. Rajak et al., 2019).

Clasificación

Como se puede ver en la **Figura 15** los materiales compuestos son clasificados según el tipo de componentes a utilizar.

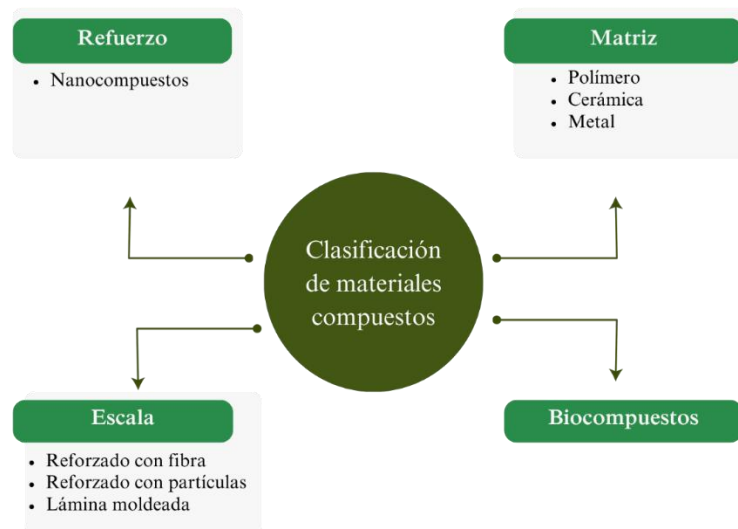


Figura 15.. Clasificación de materiales compuestos. Fuente:(D. K. Rajak et al., 2019)

Compuestos de matriz polimérica (PMC)

Están formados por termoplásticos o termoestables, reforzado con fibras ya sean de carbono, vidrio, kevlar o metal. Siendo los termoestables más comunes que los termoplásticos, por su resistencia mecánica y soportar altas temperaturas. Para su fabricación se necesita un agente endurecedor en este caso la resina, para ser conformados

en una estructura laminada entre los dos compuestos hasta alcanzar el grosor deseado. También son característicos por su valor asequible, al ser fáciles de fabricar y manipular (D. K. Rajak et al., 2019). Tal es el caso que demos comprender como está estructurada las matrices poliméricas, siendo las termoestables de nuestro interés para la investigación, podemos observar en la **Figura 16** los tipos de matrices con mayor trascendencia dentro de la industria. Donde están comprendidos por dos componentes líquidos: resina-catalizador y/o resina-endurecedor, el cual se pretende aplicar para el compuesto a desarrollar. al mezclar los componentes obtenemos una reacción química que nos permite la obtención de un material insoluble e infusible, mediante el proceso de curado (Torres Mauricio et al., 2024).

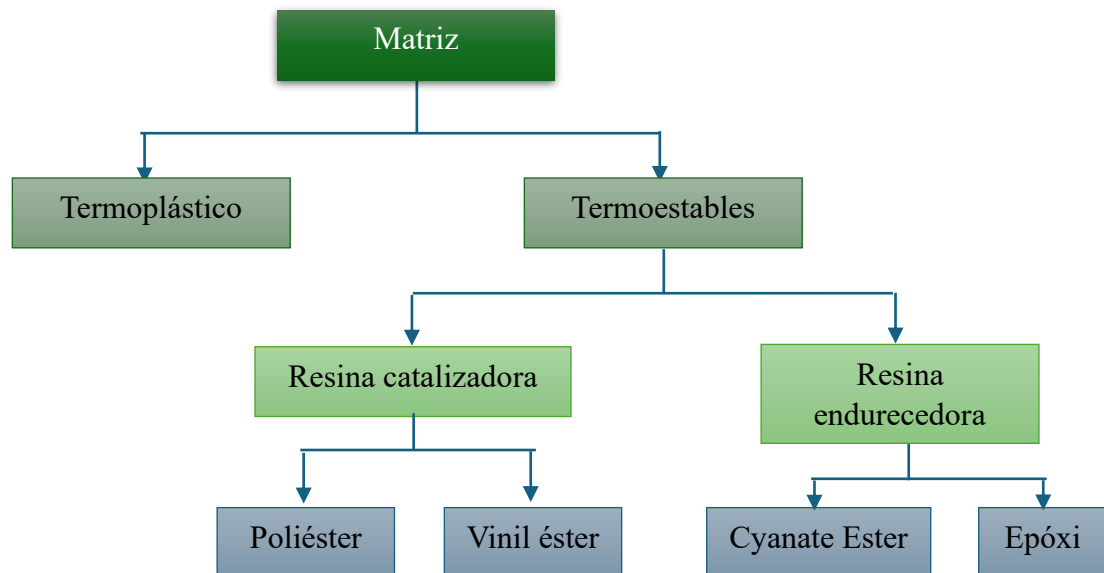


Figura 16. Matrices con mayor trascendencia dentro de la industria.
Fuente: (MAURICIO TORRES ARELLANO et al., 2024)

Además, al ser un producto comprendido por una reacción entre epíclorohidrina y bisfenol-a, permite que tenga una alta resistencia mecánica, siendo resistentes a la humedad, corrosión y a la agresión química (Torres Hernández et al., 2022). Es por ello la importancia de considerar que el compuesto resultante será influenciado por las propiedades iniciales de la matriz con el polvo residual de cuero en este caso y la compatibilidad que tendrán entre sí. Mencionando que existirá un cambio considerable según la proporción del refuerzo en el compuesto como muestra la **Figura 17** (Berdejo Nieve, 2024).

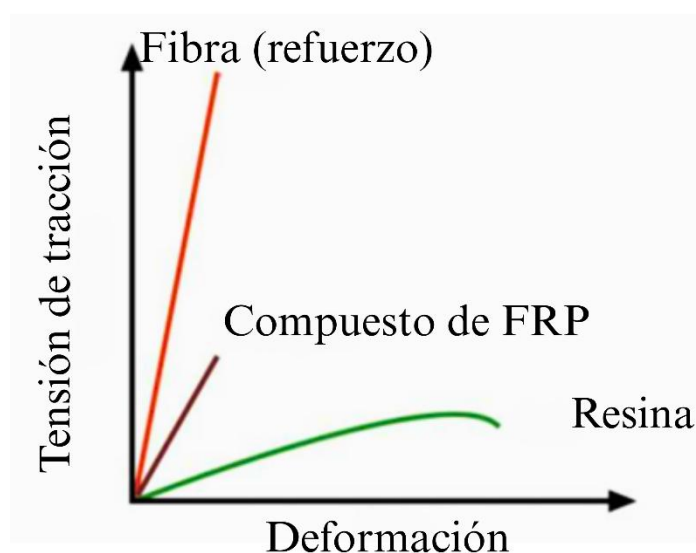


Figura 17. Diagrama comparativo de esfuerzo de deformación entre fibra, resina y material compuesto.
Fuente: (Berdejo Nieve, 2024)

Asimismo, como se observa en la **Figura 18** se puede comprender de una mejor manera el diagrama de deformación por carga. Sabemos que el esfuerzo es la fuerza aplicada que produce la deformación en el área de la muestra (probeta), mientras que la tensión es la relación entre la carga aplicada y el área transversal. Por lo que la relación que existe entre el alargamiento y longitud de calibre de la probeta se muestra como una relación adimensional, al presentarse un aumento longitudinal producido por la carga de tracción. El límite de elasticidad es el primer punto de deformación de la curva tensión-

deformación sin aumentar la tensión. Por parte de la fuerza de producción es la desviación que presenta un material debido al límite proporcional de la tensión, es decir, a mayor tensión que este sometido un material este tiene la capacidad de soportar la carga sin ninguna desviación proporcional de la tensión a la deformación (Ley de Hooke). Y su módulo secante que nos indica la relación comprendida por la tensión total y la deformación correspondiente en un punto indefinido de la curva tensión-deformación (Mexpolimeros, n.d.).

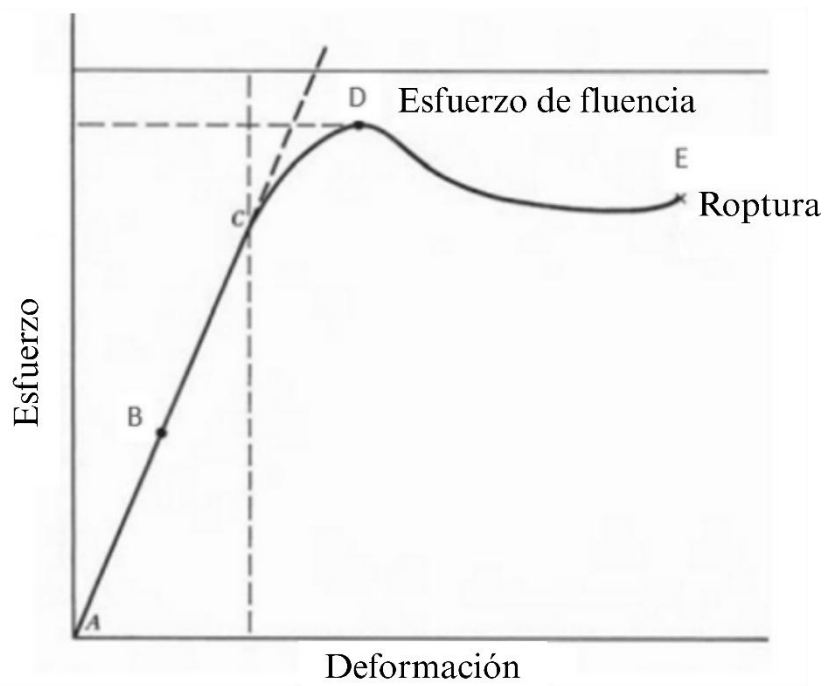


Figura 18. Diagrama tensión-deformación en polímeros.
Fuente: (Mexpolimeros, n.d.)

Como se mencionó anteriormente es importante saber el comportamiento de la matriz que se utilizará para el desarrollo del compuesto, es por ello que al utilizar resina epóxica como matriz se debe considerar el tiempo de reacción y el tipo de curado que se le dará, en este caso sería de forma natural sin ser sometida a algún tipo de proceso de desgasificación al vacío, bajo estos métodos de tratamiento de la resina se

ha encontrado ensayos bajo la normativa ASTM D638 para determinar su esfuerzo (Anabel Nava Gastelum et al., 2018) como se muestra en la **Figura 19**.

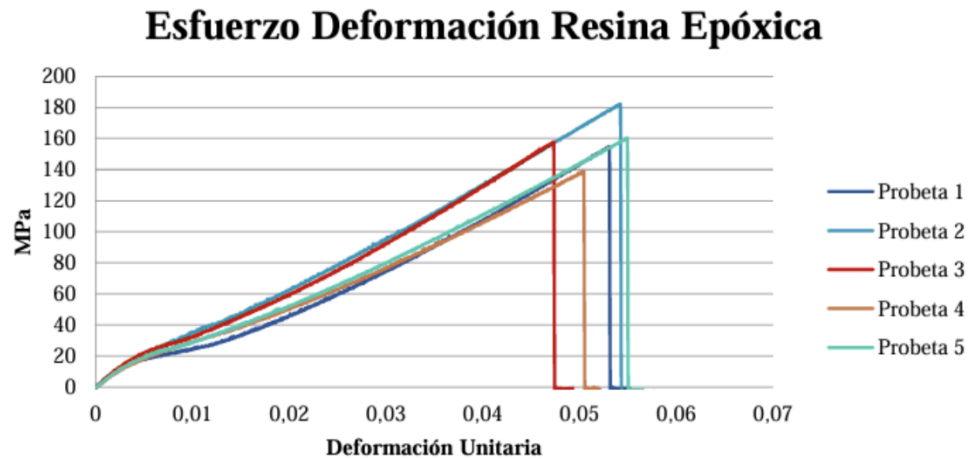


Figura 19. Resultados máximos de esfuerzo-deformación para resina epóxica. Fuente: (Anabel Nava Gastelum et al., 2018)

Por lo que la resina es considerada un excelente polímero como matriz, ya que ofrece propiedades mecánicas óptimas para aplicaciones exigentes dentro de la industria, sin embargo, presenta fragilidad inherente al estar pura sin refuerzo alguno, además puede presentar casos de absorción de agua dentro de la matriz lo que puede provocar agrietamientos, tal es el hecho que debemos considerar el método de composición del material y controlar su formulación (Zhao et al., 2023). Como podemos ver en la **Figura 20** un material compuesto está conformado por su matriz y el refuerzo ya sea como partículas, fibras y/o laminados (Lourdes Ramos Galicia & Eduardo Enrique Pérez Ramírez, 2023)

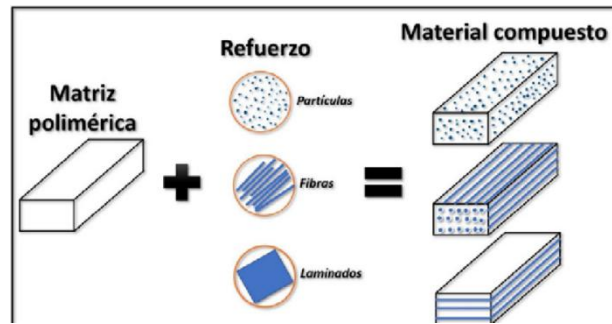


Figura 20. Esquema de la composición de un material compuesto. Fuente:

Una de las formas más convencionales para la estructura de un compuesto es el tipo sándwich, consiste en dos lamina externas de matriz separadas por el núcleo que llegaría a ser el refuerzo **Figura 21** (Raphael Zurita-Caisaguano et al., 2022)

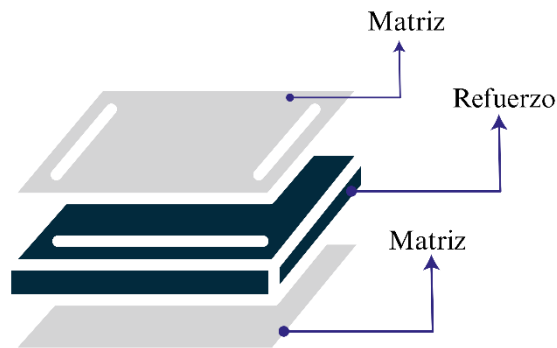


Figura 21. Estructura tipo sándwich.

Compuestos de matriz cerámica (CMC)

Son materiales cerámicos conformados por fibras de carbono, carburo de silicio (SiC), óxido de aluminio (Al_2O_3) o nitruro de silicio (SiN) siendo su matriz cerámica. Estos materiales han sido desarrollados pensando en superar la fragilidad que los caracteriza a las cerámicas monolíticas. Se consideran compuestos inversos por

el hecho que la matriz suele fallar antes que la fibra, caso contrario de los compuestos de matrices metálicas y poliméricas. Por lo que en estos compuestos su objetivo es que la matriz proteja a las fibras ante la carga. Se emplean técnicas de ruta en fase líquida o gaseosa para su producción (D. K. Rajak et al., 2019).

▪ Ruta gaseosa: “es la infiltración química de vapor (CVI), que se deriva de la deposición química de vapor (CVD)”. El CVD sirve para la producción de sólidas y delgadas películas a través de precursores gaseosos y una fuente de energía, implicando reacciones químicas sobre la superficie del sustrato. Puede haber distintas variantes de CVD dependiendo por condiciones de deposición, tipo de precursores o la fuente de activación empleada, en cualquiera de los casos todos están conformados por una serie de procesos:

1. Conducción por convección y difusión dentro de la mezcla gaseosa de las especies reactivas
2. Adherencia de las especies reactivas en la superficie del material de base.
3. Traslación en la superficie de especies reactivas, donde se originan grupos, subproductos heterogéneos que permiten el florecimiento y crecimiento de cristales en el depósito.
4. Exención de subproductos gaseosos resultado de las reacciones.
5. Distribución por convección de subproductos en la fase gaseosa

(Fenetaud & Jacques, 2023) Para el tercer paso es necesario una energía de activación mediante el calentamiento de sustrato o radiación de alta energía, permitiendo que la difusión superficial nos dé como resultado una película homogénea. Algunos parámetros que se debe considerar son las condiciones de deposición a utilizar, como la presión, temperatura o caudales máxicos influyendo en la velocidad en la que crece el recubrimiento (Fenetaud & Jacques, 2023).

▪ Ruta líquida: para esta técnica se debe adherir ciertos aditivos como Disiliciuro de Molibdeno (MoSi_2) y Titanio-Aluminio o aleaciones (TiAl), para generar

la fase líquida transitoria durante la sinterización. Lo cual facilita la densificación del material y en consecuencia su reacción in situ con Carburo de Boro (B_4C), convirtiéndose en carburos y boruros refractarios y ultraduros (Guiberteau, 2021).

Compuestos de matriz metálica (MMC)

Para los MMC es obligatorio el uso de una matriz metálica, siendo el Aluminio (Al), Magnesio (Mg), Cobre (Cu) y Titanio (Ti) las matrices más comunes a utilizar. Para el refuerzo suele consistir en partículas cerámicas dispersas, ya sea óxidos o carburos o metales como tungsteno, molibdeno o plomo, sabiendo que este refuerzo representa un porcentaje mínimo hasta aproximadamente el 50% del volumen total. Siendo los compuestos con base de aluminio con más demanda en los sectores de automotriz y aeroespacial, teniendo refuerzos como carburo de silicio (SiC) y óxido de aluminio (Al_2O_3) integrados de manera sencilla y eficiente en aluminio fundido, obteniendo propiedades como mayor resistencia al desgaste (D. K. Rajak et al., 2019).

Tipos de refuerzos

Fibra

Los compuestos reforzados con fibras sintéticas como vidrio, carbono, basalto y kevlar en una estructura compuesta evidenció mejoras en propiedades del material como, alta resistencia. Rigidez y resistencia química, térmica y al desgaste. En la actualidad se está utilizando el refuerzo con fibras naturales tratadas previamente con químicos que muestran una mejor tenacidad al impacto y resistencia a la fatiga, considerando que sus precios son más económicos ya que se encuentran en abundancia, además de ser biodegradables, ecológicas con una densidad menor a comparación de las fibras sintéticas (D. K. Rajak et al., 2019).

Partícula

Estos compuestos tienen menor eficiencia como refuerzos. Suelen ser aplicados en ámbitos donde se requiere altos niveles de resistencia al desgaste. Una de sus ventajas es su bajo costo y facilidad de producción y conformado. Tenemos de

ejemplo el hormigón, agregado con roca gruesa o grava se adhiere en una matriz de cemento, proporcionando rigidez y resistencia con ayuda del cemento como aglutinante para mantener la uniformidad del material. Cuando se utiliza una alta cantidad de partículas vítreas a base de hierro como refuerzo para MMC, podemos observar un resultado con una notable resistencia y plasticidad (D. K. Rajak et al., 2019).

Hoja-Laminados

Los compuestos laminares, son materiales de moldeo termoestable o por comprensión pueden ser reforzados con fibra de vidrio y resinas insaturadas para la obtención de un compuesto de moldeo de alta resistencia. Generalmente son aplicados para elementos estructurales de gran tamaño por su característica de alta resistencia con relación al peso. Además de ofrecer una versatilidad en su diseño de piezas, como a fijación de componentes y subconjuntos. A diferencia de los paneles cilíndricos su temperatura de pandeo es superior a los paneles esféricos (D. K. Rajak et al., 2019). Por ello, debemos comprender las distintas formas en que un material compuesto puede ser preparado.

1.7.3 Fundamentación teórica variable dependiente

Es el procedimiento que estudia las propiedades morfológicas y funcionales de determinados elementos, es decir, que nos permite el análisis de propiedades físicas, químicas y mecánicas. Es llevado a cabo a través de ensayos en laboratorio que permiten determinar la composición, propiedades y que respeten las normativas e identificar sus posibles contaminantes. Al ser un recurso importante para la industria, ya sean por sus distintas técnicas de análisis que se emplean para la obtención precisa de información y comportamiento de los compuestos ante condiciones ambientales y estimulaciones según su aplicación. Cabe señalar que la caracterización de un material es elemental para la selección de materias primas mejorando en consecuencia su diseño y fabricación. Por lo que la caracterización es considerada una herramienta de investigación esencial para obtener mayor eficiencia en el desarrollo de un compuesto

(INFINITIA Industrial Consulting, 2022). Es por ello por lo que para el proyecto las más relevantes a analizar son las propiedades físicas, mecánicas su durabilidad y comportamiento en el ambiente.

Propiedades de los CMC ligeros

Sabemos que la función principal de un refuerzo cerámico es otorgar tenacidad a la matriz cerámica, expansión térmica y dureza. Las principales propiedades que “caracterizan las CMC son la estabilidad a altas temperaturas, resiliencia al choque térmico, alta dureza, resistencia a la corrosión, ligereza, insensibilidad magnética y eléctrica, versatilidad para ofrecer opciones técnicas específicas y resistencia a fallos catastróficos”. Convirtiéndolas en un sustituto absoluto a los materiales convencionales de la industria como aceros de alta aleación y metales refractarios (D.; K.; Rajak et al., 2024).

Propiedades mecánicas

Una diferencia entre los CMC y los cerámicos monolíticos es que este último está compuesto por menos puentes, por lo que indica curvas de tensión-deformación no lineales la cual da una apariencia de ser una deformación plástica del material (cuasi-plástica). A la vez que se aumenta la tensión su efecto de punteo ocasiona microfisuras, siendo las causantes de este fenómeno. La cerámica monolítica al tener un módulo elástico inferior a las fibras cargadas en las CMC, su pendiente de deformación disminuye progresivamente según la carga añadida. Como se puede observar en la **Figura 22** muestra la conducta de tensión-deformación de las CMC en comparación de las cerámicas monolíticas (D.; K.; Rajak et al., 2024).

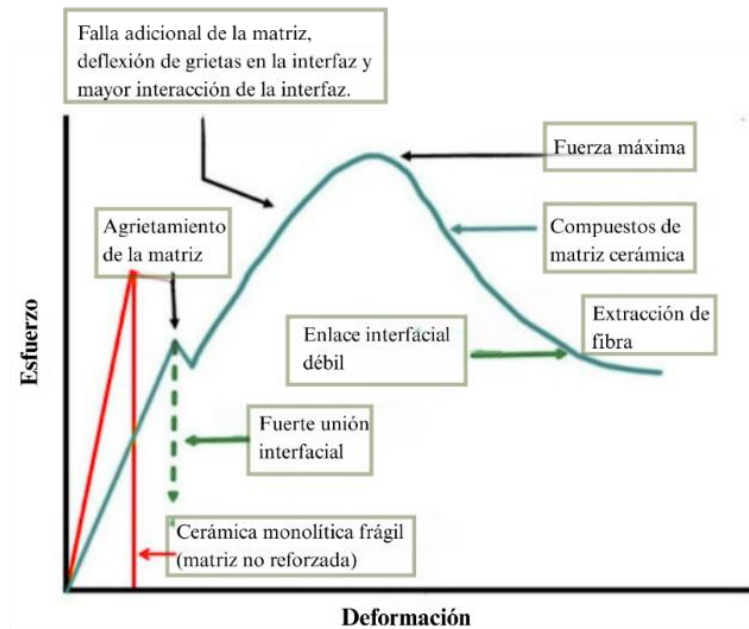


Figura 22. Comportamiento tensión-deformación de las CMC, en comparación de las cerámicas monolíticas. Fuente: (D.; K.; Rajak et al., 2024)

Para que exista una mejora en la viabilidad mecánica en las CMC en ocasiones son reforzados con nanopartículas en su interfaz además de la fibra, estos refuerzos representan una mayor relación superficie-volumen permitiendo el cubrimiento total de la interfaz mejorando a la vez sus propiedades mecánicas como tenacidad a la fractura, resistencia al desgaste y a la flexión, aún si es una carga moderada. También hay que considerar que estos materiales por su naturaleza están expuestos a corrosión, oxidación y fallos mecánicos en la matriz de fibra, es por ello por lo que se les da un recubrimiento protector. La Figura 23 nos muestra la comparación de la resistencia a la flexión y tracción de las fibras reforzadas con distintos materiales (D.; K.; Rajak et al., 2024).

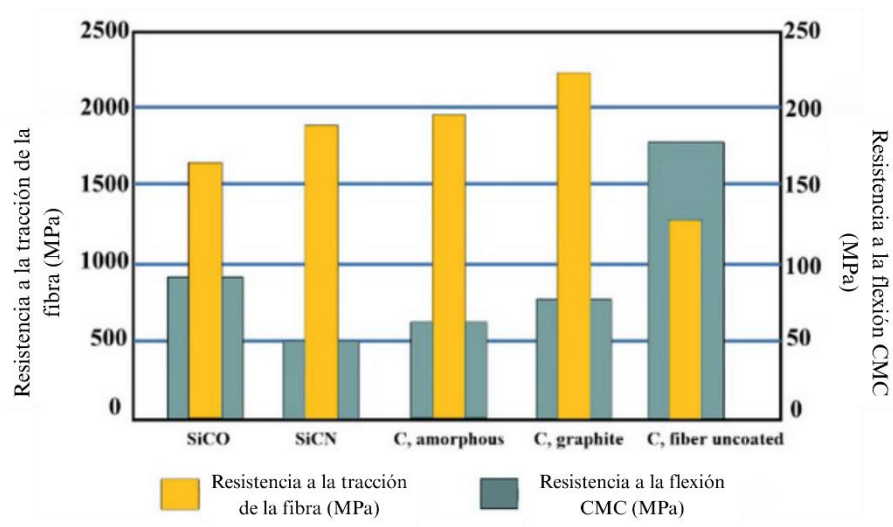


Figura 23. Comparación la resistencia a la flexión y a la tracción de fibras reforzadas con diversos materiales. Fuente: (D.; K.; Rajak et al., 2024)

Aplicación de materiales compuestos en el mercado

El empleo de materiales compuestos dentro de la industria se ha visto un crecimiento en los últimos años, como lo son los compuestos reforzados con partículas grandes, el hormigón de cemento portland, al ser un material comprendido entre arena, grava, agua y cemento portland, lo convierte en un material barato a diferencia del cemento, por tal motivo es utilizado para el sector de la construcción, además, de poseer propiedades como la resistencia a la compresión (Vallejos Manuel, 2022).

Asimismo, existen aplicaciones de nanocompuestos con el fin de mejorar la durabilidad y estabilidad térmica, idónea para aplicaciones de alta temperatura, al mismo tiempo mejorando la conductividad eléctrica, siendo adecuados para el sector electrónico. Mientras que los compuestos metálicos inteligentes son incorporados con aleaciones y/o polímeros en forma de matrices metálicas, característicos por su adaptabilidad a temperaturas y estrés causado por agentes externos al material, por ello, comúnmente son aplicados en el sector aeroespacial, mejorando su rendimiento, precisión y resiliencia.

Algunas de sus aplicaciones con mayor relevancia han sido las aleaciones con memoria de forma (SMA), al ser compuestos con la capacidad de recordar su forma inicial tras ser sometida a deformaciones provocadas por el cambio de temperatura. Por lo que, en el sector aeroespacial es utilizada a través de perfiles aerodinámicos adaptables, a la vez en la parte estructural de las alas al transformarse y componentes autorreparables. En el área de la medicina son aplicados mediante aleaciones de NiTiNol (Níquel, Titanio, Naval Ordnance Laboratory) para mallas y alambres de ortodoncia. Por el lado de los compuestos poliméricos avanzados han sido mejorados, con mayor resistencia a la tracción y al impacto, además de reducir la absorción a la humedad, prolongando la vida útil de los materiales, convirtiéndose en uno de los materiales más confiables y ser aplicados en infraestructuras de transporte, manufactura y robótica (López, 2024).

Con la información recolectada podemos evidenciar el alto potencial de los materiales compuestos, al ser comprendidos por distintas matrices, refuerzos e interfases, permite su aplicación en los distintos sectores industriales, permitiendo un mejor desarrollo dentro de cada aplicación correspondiente al uso que se le desea dar según la caracterización de estos compuestos.

En este contexto, también se han desarrollado materiales compuestos a partir de residuos industriales, como es el caso del polvo residual de cuero generado en curtiembres, cuyo impacto ambiental ha motivado su reutilización en nuevas aplicaciones. Según (Paucar Samaniego et al., 2024), el aprovechamiento del residuo de cuero bajo principios de economía circular ha permitido crear elementos arquitectónicos sostenibles, como bloques decorativos con resistencia a compresión de 15.72 MPa. Estos resultados demuestran que los materiales compuestos no solo pueden optimizar el rendimiento mecánico, sino también reducir la contaminación ambiental y dar valor agregado a residuos que antes eran desechados sin tratamiento. Este tipo de innovación se alinea con los objetivos de sostenibilidad y permite ampliar las fronteras del diseño arquitectónico y del desarrollo de materiales ecoeficientes en países como Ecuador.

1.8 Pregunta de investigación

¿Se puede obtener material compuesto a partir del polvo residual de cuero?

1.9 Señalamiento de variables

1.9.1 Variable independiente

Contenido de polvillo residual de cuero.

1.9.2 Variable dependiente

Caracterización del material.

Capítulo II

Metodología

2.1 Método

Para el proyecto de investigación se ha considerado el método inductivo, característico por la adquisición de conocimientos a partir de la recopilación de hechos observados en la naturaleza o la realidad del contexto en que nos enfoquemos, para conseguir conclusiones desde lo observado, además de formulación de hipótesis para proponer una explicación ante el acontecimiento y su comprobación a través de herramientas como la experimentación y una aplicación con mayor alcance. Considerado el método inductivo fundamental para todas las ciencias propuesto por Francis Bacon (Ameneyro, 2024). Así también se utilizará un método de análisis para obtener mejores resultados, analizando los ensayos a realizar para conseguir las propiedades adecuadas para el nuevo material compuesto, esto con el propósito de complementar la investigación.

Tal es el caso de la presente investigación donde se ha iniciado con una contextualización donde se han identificado varios factores que afectan a esta problemática dentro de la provincia de Tungurahua, comprendiendo el proceso productivo de las curtiembres y como son tratados actualmente los residuos generados dentro de ellas y sus afecciones hacia los seres vivos y el ambiente. Posterior a esto se ha realizado una búsqueda documental de proyectos con el mismo objetivo de mitigar la contaminación sólida proveniente de estas industrias. Garantizando que el desarrollo del proyecto sea viable dentro del contexto a tratar.

2.1.1 Enfoque de la investigación

El método que se direccionará la investigación es el mixto, ya que aprovecha las fortalezas de los enfoques cuantitativos y cualitativos, obteniendo una mejor comprensión del fenómeno estudiado al multidimensionar al fenómeno investigado, incrementando la validez y relevancia de los resultados obtenidos (Ángel et al., 2023). Como características que definen a este método son:

a) **Integración de datos:** recolección y análisis de datos tanto cuantitativos y cualitativos ya sea de manera simultánea o secuencial, siendo integrados de una manera holística del objeto de estudio.

b) **Triangulación:** principio estratégico del método mixto, donde compara y contrasta los resultados obtenidos de distintas fuentes para su validación y sustentar la comprensión del fenómeno.

c) **Complementariedad:** la intención del método es complementar los resultados y las perspectivas de los enfoques cualitativos y cuantitativos para convergerlos a una comprensión más completa y profunda.

d) **Diseño de investigación mixta:** puede ser un diseño secuencial o concurrente dependiendo de los objetivos de la investigación.

2.1.2 Modalidad básica de la investigación

Investigación documental:

Según Tancara (1993), la investigación documental está comprendida por una serie de técnicas y métodos que buscan, procesan y almacenan información en documentos siendo la primera etapa para luego ser presentado en un nuevo documento de manera sistemática, coherente y argumentada para fortalecer las competencias utilizadas para el desarrollo de una investigación (Isaías Martínez-Corona et al., 2023).

Investigación de campo

Es una investigación que se lleva a cabo fuera de laboratorios u entorno cerrado con fines de llevar a prácticas de estudios de observación donde el investigador puede tomar datos con mayor precisión en el lugar de los hechos, documentando procesos reales desde aciertos y desaciertos en prácticas en el contexto que se esté investigando, además existen otras herramientas como las entrevistas y encuestas que pueden dar cabida a una gran escala a la investigación (ATLAS.ti, n.d.).

2.1.3 Nivel o tipo de investigación

Exploratorio:

Su objetivo principal es indagar y proponer nuevas soluciones, teorías o hipótesis relacionadas a un fenómeno en concreto. Buscando una comprensión profunda del tema de estudio, combinando las fortalezas de los enfoques cualitativos y cuantitativos, descubriendo enfoques emergentes mediante la generación de ideas novedosas al identificar nuevas perspectivas mediante un análisis integral, para llegar a un diseño flexible donde el investigador puede cambiar o ajustar el diseño de la investigación según se va desarrollando la investigación consiguiendo un direccionamiento diferente. Complementado con un análisis inductivo para identificar patrones sin dependencia alguna a teorías previas, construyendo un conocimiento desde lo empírico (Ángel et al., 2023). Es por ello por lo que al determinar el caso de estudio específico este puede ser replicado para el resto de las industrias que se encuentren dentro de la provincia e inclusive a nivel nacional.

Descriptivo

Según Sabino, menciona que la investigación descriptiva está compuesta por varias categorías fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistémicos que consienten en establecer la organización o comportamiento de los objetos de estudio, facilitando información sistemática y semejante con información provenientes de otras fuentes (Alban et al., 2020). Esta sistematización que se menciona puede ser utilizada para el tratamiento de los residuos sólidos, en este caso el polvo residual de cuero, en otras curtiembres. Para así lograra un alcance mayor para mitigar la contaminación que genera este desecho.

Asociación de variables

Para este proyecto de investigación es notable la relación entre las variables tanto la dependiente como la independiente, ya que, al realizar distintas cargas del polvo residual sobre la matriz, estas varianzas de cantidad influirán en las propiedades mecánicas del material. Las distintas proporciones del residuo

serán sometidas a ensayos experimentales para comprobar esta asociación entre variables. Y así poder determinar el uso adecuado de este nuevo compuesto dentro del mercado.

2.2 Población y muestra

Como se señaló previamente en la investigación sabemos que en la provincia de Tungurahua la industria del cuero representa una gran parte a nivel nacional, comprendida por 57 curtiembres registradas dentro de la provincia, sin embargo, para el presente proyecto se ha trabajado de la mano con la Curtiduría Tungurahua, al ser una de las más reconocidas y fundamentales para la economía local, permitiéndonos el acceso de primera mano a la información pertinente y necesaria para la investigación. Sabiendo que Curtiduría Tungurahua está comprometida en proyectos de sostenibilidad para mitigar la contaminación ambiental, considerando que es una de las industrias más contaminantes. Es por ello por lo que la empresa ha desarrollado varios proyectos sostenibles para el tratamiento residuos generados por otros procesos productivos del curtido.

Figura 24. Empresa colaborante. Fuente: (Curtiduría Tungurahua S.A., n.d.)	Provincia	Tungurahua
	Ciudad	Ambato
	Ubicación	Parque Industrial – Etapa III

Tabla 5. Información del caso de muestra y población

2.3 Operacionalización de variables

Variable Independiente: Uso de polvo residual de cuero

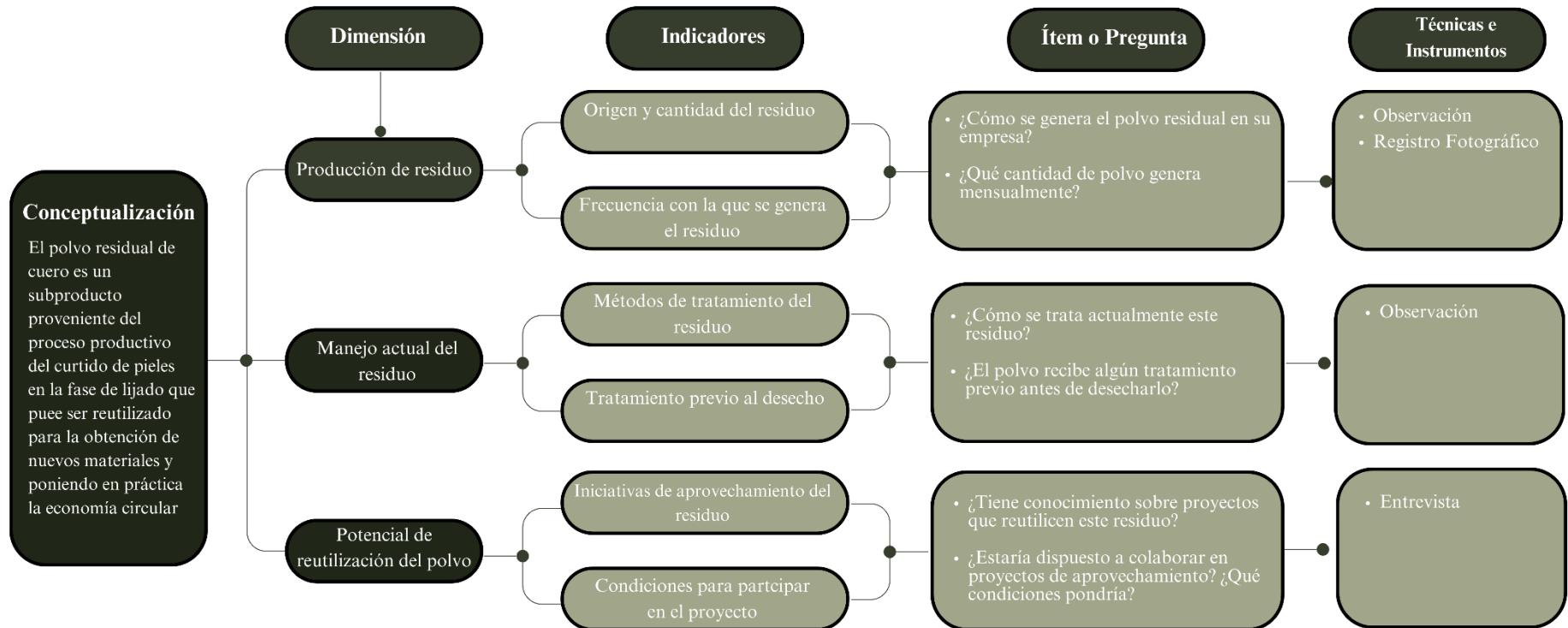


Figura 25. Operacionalización Variable Independiente

Variable Dependiente: Caracterización del material compuesto

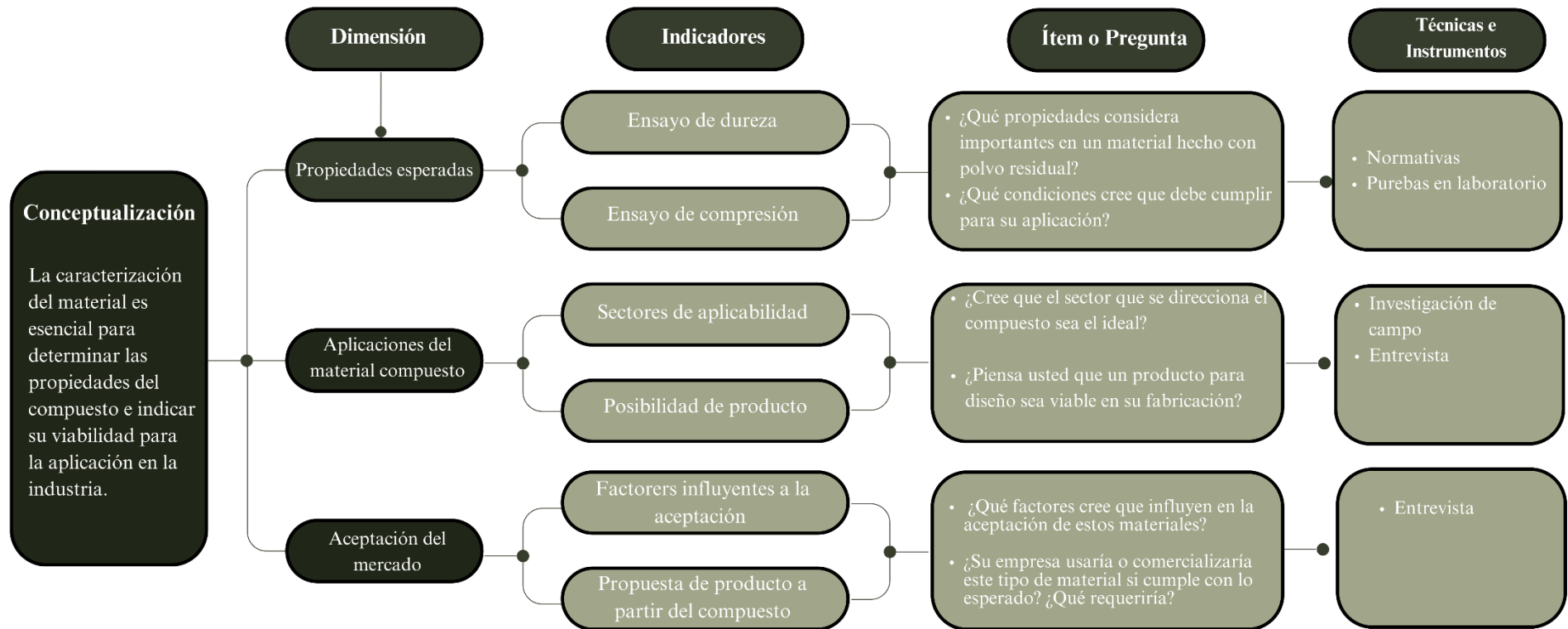


Figura 26. Operacionalización Variable Dependiente

2.4 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas empleadas para el levantamiento de información para la investigación ha sido la observación e investigación de campo, esenciales para la obtención de datos claves para la viabilidad del proyecto. Ya que estas técnicas y herramientas nos permiten la obtención de información de primera fuente para una mayor exactitud de los datos.

Visita de campo

Durante un periodo de 10 días se realizó un acercamiento directo a la empresa con la finalidad de levantar información sobre la producción diaria del polvo residual de cuero generada en la fase de lijado. Para ello, se observaron de manera detallada los procesos productivos principales del curtido, iniciando por la zona húmeda hasta la zona seca, lo que nos permitió una mejor comprensión del proceso de transformación del cuero y, principalmente la identificación de la fase de lijado como generadora del polvo residual de cuero. Por tal motivo se prestó mayor atención a la fase de lijado, por ser el área donde se produce el residuo mencionado, permitiéndonos tener una mayor precisión las características de este. Paralelamente se llevó a cabo un registro fotográfico continuo en el transcurso de los diez días, documentando tanto el espacio de trabajo y la recolección del residuo **Figura 27**.



***Figura 27.** Recolección de polvo residual*

Para garantizar un control más implacable de los datos recolectados se elaboró una matriz en Excel **Tabla 6.** donde se registraron los factores de mayor relevancia como el peso por minuto del residuo, color y textura dependiendo del cuero lijado. Donde se evidenció que para el tratamiento actual de este residuo se maneja por medio de dos máquinas compactadoras de polvo de la marca Palasi. Estas máquinas permiten la compactación del polvo obteniendo de este residuo cilindros de distintos espesores. Entonces sabemos que cada cilindro puede variar considerablemente en su peso, dato documentado por la investigadora durante las visitas a la empresa **Figura 28.**

Estableciendo que diariamente se genera un promedio de 137 kg de polvo residual, sabiendo que las máquinas compactadoras operan 8 horas al día, una en cada jornada, para garantizar la continuidad del proceso, sin embargo, durante temporadas altas de producción (exportaciones) ambas compactadoras trabajan de manera simultánea en turno laborales completos. Con esta información se puede realizar una estimación de la cantidad del residuo generado y como es viable para el uso como material para el desarrollo del compuesto.

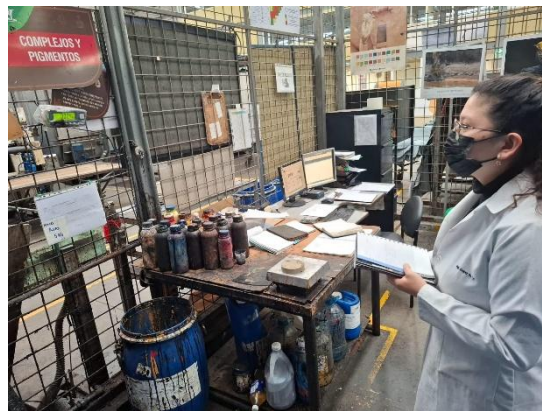


Figura 28. *Pesaje de cilindros compactados*

Tabla 6. Registro de producción diaria de polvo residual de cuero.

FECHA	HORAS TRABAJADAS POR MÁQUINA		PESO POR CILINDRO (kg)			PESO de 30 min (kg)	PESO de 15 min (kg)	TAMAÑO POR CILINDRO		PESO TOTAL (kg) / POR DÍA TRABAJADO	
	MÁQUINA 1	MÁQUINA 2	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3			Diámetro (cm)	Profundidad (cm)	Máquina 1	Máquina 2
24/2/2025	8	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25/2/2025	5	5	0,084	0,079	0,082	9,8	-	10	2,5	98	98
26/2/2025	8	8	-	-	-	11,18	-	10	2,7	178,88	89,44
27/2/2025	-	8	0,13	0,106	0,126	12,2	8,59	10	2,7	-	195,2
5/3/2025	8	8	-	-	-	6,3	5,24	9,9	1,8	167,68	100,8
6/3/2025	8	8	0,067	0,069	0,081	7,2	3,49	10	1,7	111,68	115,2
10/3/2025	8	8	0,073	0,076	0,071	8,79	4,21	10,5	4,5	134,72	140,64
11/3/2025	12	8	0,065	0,057	0,064	7,44	4,3	10	2,3	206,4	137,6
12/3/2025	4	8	0,084	0,089	0,089	10,47	5,11	10	2,7	167,52	163,52
	4	8	0,074	0,082	0,066	8,88	4,51	10	2,7	142,08	144,32
13/3/2025	12	8	0,041	0,045	0,043	5,16	2,58	10	1,7	123,84	82,56
TOTAL										147,87	126,728
PROMEDIO											137,30

Proceso Experimental

Eliminación de humedad

Para poder iniciar con la mezcla entre la resina epóxica y el polvo residual de cuero, previamente se ha sometido al residuo a que se seque mediante el calor solar para eliminar la humedad aún presente dentro de su composición, esto con el fin de que la humedad no afecta al momento de homogenizar los compuestos y no altere su conformación entre ellos, este proceso se lo realizó mediante un secador manual de madera, donde con ayuda de una funda plástica que actúa como barra de soporte para el residuo como se ve en la **Figura 29** y con una protección de vidrio para que ningún elemento externo se adhiera al polvo tal como se muestra en la **Figura 30**, este proceso se realizó durante un periodo de cinco días, donde pudimos evidenciar la pérdida de humedad progresivamente por día **Tabla 7**.



Figura 29. Disposición de polvo residual de cuero en secador manual



Figura 30. Proceso de eliminación de humedad en el polvo residual de cuero.

Tabla 7. Eliminación de humedad.

Día	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)
1	100	96
2	96	92
3	92	90
4	90	88
5	88	87

Podemos observar que, durante el proceso de secado del polvo residual de cuero al sol, se observó una pérdida total de 13 gramos en un periodo de cinco días, siendo el peso inicial de la muestra de 100 gramos. Considerando que la temperatura de los días correspondientes osciló entre 7 – 18 °C, donde la mayor cantidad de humedad eliminada fue durante los primeros días.

Proceso de tamizado

Posterior al proceso de eliminación de humedad presente en el residuo, procedemos a tamizarlo para que las partículas del polvo sean más uniformes. Para conseguir una mejor uniformidad y comportamiento del polvillo residual para el material compuesto, hemos realizado el tamizado en seco con ayuda de un tamiz con aberturas de 1 mm (1000 micras). El tamiz utilizado corresponde a la norma ASTM E11 de una malla N°18 (Jesica, 2013), utilizada para el fraccionamiento de partículas **Tabla 8**. El uso de esta malla permitió separar las partículas más gruesas e impurezas, garantizando una granulometría más homogénea que facilite la mezcla **Figura 31** con la matriz, en este caso la resina epóxica de la marca WESCO, señalando que esta resina tiene una relación 2:1, es decir, dos veces más de resina y una parte de endurecedor para que se active la reacción entre ellos y el polvo.

Tabla 8. *Proceso de tamizado del polvillo residual de cuero.*

Parámetro	Descripción
Tipo de tamiz	Tamiz de acero inoxidable
Norma de referencia	ASTM E11
Diámetro de abertura del tamiz	1 mm (1000 micras)
Equivalencia en número de malla	Malla N°18
Método de tamizado	Manual
Finalidad del tamizado	Obtener partículas finas y homogéneas para la mezcla del material compuesto



Figura 31. *Proceso de tamizado de polvo residual de cuero.*

Formulación de probetas

Una vez conseguida el tamaño ideal de las partículas del polvo realizamos una matriz de relación comprendida entre la matriz (resina epóxica) y el refuerzo (polvillo residual de cuero), las cuales se han considerado una varianza entre las tres relaciones a realizar para que exista una mejor diferencia entre probetas **Tabla 9.**

Tabla 9. Relación refuerzo-matriz para probetas.

Matriz de formulación de probetas					
Probeta	Relación refuerzo - matriz	Polvillo (gr)	Resina (gr)	Endurecedor (gr)	Total
1	30:70	6	9.4	4.6	20 gr
2	40:60	8	8	4	20 gr
3	50:50	10	6.6	3.4	20 gr

Asimismo, para realizar las probetas tanto de dureza como de tracción debemos tener presente que se deben llevar a cabo según dicta la normativa, ya que esto nos garantiza que los resultados que se obtendrán mediante los ensayos correspondientes sean auténticos, por ello podemos observar en la **Tabla10** y **11** las medidas para los ensayos de tracción y dureza según la norma ASTM D638 y ASTM D2240 respectivamente. Sabiendo que estas pruebas nos permitirán determinar el uso de nuestro material, esto en base a bibliografía previamente recolectada, donde se evidenciaron proyectos donde nos muestran la importancia de realizar estas pruebas a un material nuevo.

Ensayo	Tipo	Importancia	Tabla 10.
Tracción ASTM D638	I	Proporciona una base sólida para representar la variación de los valores característicos mecánicos de un polímero (ZwickRoell, n.d.)	

Dimensiones

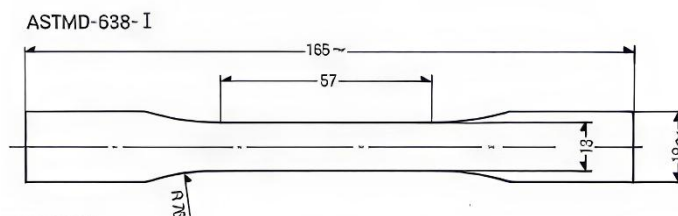


Figura 32. Dimensiones de probeta de tracción Tipo I.
Fuente: (Alibaba, n.d.)

Características de ensayo de tracción

Según la norma ASTM D638 Tipo I se aplica en probetas de plástico rígido, de tipo halterio con una longitud de 165 mm con un espesor de 3,2 mm mínimo y una longitud inicial de 50 mm, ya que todavía se encuentra relativamente cerca de los espesores del material habitual en componentes y, a su vez, permite obtener una buena precisión en la medición de la deformación (Alibaba, n.d.).

Tabla 11. Características de ensayo de dureza.

Ensayo	Tipo	Importancia
Dureza	ASTM D2240	Determina la dureza relativa de materiales blandos, generalmente plástico o caucho. Midiendo la penetración de un indentador específico en el material bajo condiciones específicas de fuerza y tiempo (Intertek, n.d.)

Dimensiones

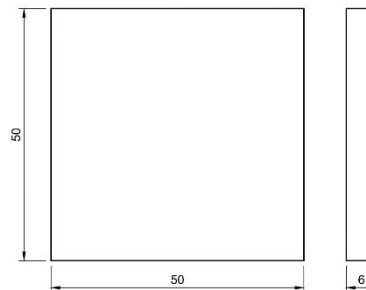


Figura 33. Dimensiones de probeta de dureza shore D

El método de dureza Shore se basa en la medición de la profundidad. Es decir, se mide la profundidad de una probeta para la obtención de su dureza, midiendo su profundidad de penetración real y no la huella residual generada por el indentador. La profundidad de penetración es medida mediante un indentador con carga de resorte, donde penetra la probeta. “El indentador es una punta de acero endurecido, con diferentes diseños de punta y de bola de acero en función del método Shore. La profundidad de indentación es una medida de la dureza Shore que se mide en una escala

de 0 Shore (2,5 milímetros de profundidad de indentación) a 100 Shore (0 milímetros de profundidad de indentación)” (Intertek, n.d.).

Por lo tanto, tanto la dureza superficial como la resistencia a la tracción son propiedades mecánicas fundamentales para evaluar el desempeño de un material compuesto destinado a aplicaciones arquitectónicas interiores. Estas propiedades permiten validar su comportamiento ante esfuerzos mecánicos, desgaste superficial y condiciones de uso prolongado. En este sentido, los ensayos realizados en el presente estudio se sustentan en normativas internacionales estandarizadas, las cuales garantizan la confiabilidad de los resultados obtenidos y su comparación con materiales similares en el mercado **Tabla 12.**

Tabla 12. *Justificación técnica y normativa de los ensayos aplicados al material compuesto.*

Ensayo	Norma técnica aplicada	Propiedad evaluada	Justificación técnica para diseño interior
Tracción	ASTM D638/ ISO 527-4	○ Resistencia máxima ○ Deformación máxima ○ Módulo elástico ○ Desplazamiento	Permite determinar la resistencia estructural, rigidez y capacidad de elongación del material. Es fundamental para validar su uso como elemento de revestimiento en interiores, garantizando que soporte tensiones mecánicas y de instalación.
Dureza	ASTM (Shore D)	Dureza superficial	Evalúa la resistencia al desgaste, rayado y presión superficial, condiciones comunes en ambientes interiores. Indica durabilidad estética y funcional del material compuesto en uso cotidiano.

Preparación de probetas

Una vez definida la relación entre la matriz (resina) y su refuerzo (polvillo residual de cuero), partimos con la medición de cada uno de los componentes, siendo el polvo el primer elemento pesado como se observa en la **Figura 34** para luego reservarlo mientras se pesa a la resina con el endurecedor sabiendo que tienen entre sí una relación 2:1 y se lo empieza a remover para que se active su reacción **Figura 35**, una vez pesado cada componente iniciamos con la formación de cada probeta **Figura 36**, hasta conseguir las tres capas correspondientes al método sándwich que se ha aplicado **Figura 37**, **Figura 38** y proceder a secar las probetas **Figura 39**.



Figura 34. *Medición de polvo residual.*



Figura 35. Medición de resina y endurecedor.



Figura 36. Primera capa de resina



***Figura 37.** Capa de polvo residual de cuero*



***Figura 38.** Segunda capa de resina*



Figura 39. Secado de probetas.

Proceso de fabricación



Figura 40. Síntesis de proceso de fabricación.

Para la elaboración de las probetas se realizó una búsqueda exhaustiva en la selección de los materiales complementarios para la investigación, como observamos en la **Tabla 13 y 14**, presentamos los costos de los materiales empleados durante los ensayos, además de los valores de las pruebas realizadas en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Lo que nos permite acceder al descuento estudiantil para ciertas pruebas.

Tabla 13. Costo de materiales para fabricación de probetas.

Cantidad	Material / Prueba	Costo + IVA	Total (\$)
1	Resina epóxica	20,96	20,96
1	Yeso	2,00	2,00
1	Molde	8,00	8,00
1	Pigmento	2,00	2,00
Total			32,96

Tabla 14. Costo de ensayos sometidos a probetas.

Costo de ensayos			
Cantidad	Concepto	V. Unitario	V. Total
3	CTT FICM- ensayo de tracción en planchas en general	11.59	34.77
15	CTT FICM- dureza en polímeros shore	3.5	52.5
		SUB TOTAL	87.27
		IVA 0%	
		IVA 15%	13.10
		TOTAL	100.37

Capítulo III

Resultados y discusión

3.1 Análisis y discusión de los resultados.

Parte fundamental para el desarrollo del proyecto ha sido la investigación bibliográfica y de campo, correspondiente al caso de estudio de la obtención de un material compuesto a partir de residuos provenientes de la industria del cuero, para el caso polvillo residual de cuero de la fase de lijado, donde dentro de este proceso de investigación nos ha sido beneficioso para identificar los puntos clave esenciales para encaminar de la mejor manera al proyecto.

A partir de la información obtenida pudimos comprender y analizar el proceso que genera el polvillo residual de cuero y como se lo puede tratar para la obtención de materiales compuestos partiendo de estos residuos industriales del sector del cuero. Además, para una información con mayor certeza se realizaron entrevistas dirigidas estratégicamente para abordar con mayor profundidad la problemática inicial. Por ello podemos observar en la **Tabla 15** la estructura aplicada para la entrevista.

3.1.1 Análisis de entrevista

Tabla 15. Estructura de entrevista.



Universidad Técnica de Ambato
Facultad de Diseño y Arquitectura
Carrera de Diseño Industrial



Tema: “Uso de polvillo residual de cuero para la obtención de un material compuesto”

Objetivo: Recopilar información técnica, ambiental y comercial sobre el uso del polvo residual de curtiembres como materia prima para la elaboración de un material compuesto

Área 1: Procesos y residuos

1. ¿Podría describirme el proceso mediante el cual se genera el polvo residual de cuero dentro de la empresa?
2. ¿Qué cantidad aproximada de este residuo generan por semana o mes?
3. ¿Cuál es el tratamiento actual del polvo residual? ¿Existe algún tratamiento antes de su disposición?
4. ¿Existen variaciones en el tipo o calidad del polvo residual según el proceso de curtido o tipo de piel?

Área 2: Sostenibilidad y gestión ambiental

5. ¿Considera que el polvo residual representa un problema ambiental para la empresa o su entorno? ¿Por qué?
6. ¿Han participado o conocido de proyectos que busquen reutilizar este tipo de residuo? ¿Cómo fue esa experiencia?
7. ¿Qué tan dispuesto estaría su empresa a colaborar con propuestas que busquen aprovechar este residuo en nuevos materiales?
8. ¿Qué beneficios o limitaciones percibe en la reutilización del polvo residual desde el punto de vista ambiental y operativo?

Área 3: Innovación y viabilidad comercial

9. ¿Qué propiedades considera esenciales que debería tener un material hecho con este residuo para que sea viable en el mercado?
10. ¿En qué tipo de productos o sectores cree que podría utilizarse un material compuesto elaborado con polvo de cuero?
11. ¿Qué factores cree que podrían influir en la aceptación o rechazo de este tipo de materiales por parte del consumidor o de la industria?
12. Si se lograra desarrollar un material funcional y sostenible, ¿la empresa estaría interesada en utilizarlo o comercializarlo?

Con ayuda de la estructura presentada pudimos obtener información que nos permite avanzar con mayor solvencia el proyecto, por lo que para la tabulación de datos de la entrevista nos ayudaremos con el método de triangulación, donde los actores serán el jefe de área del laboratorio dentro de la empresa colaborante, trabajador en el área de

limpieza y observador (investigador) al haber tenido la apertura por parte de la empresa y observar de manera directa los procesos que es de nuestro interés.

Área 1: Procesos y residuos

1. ¿Podría describirme el proceso mediante el cual se genera el polvo residual de cuero dentro de la empresa?

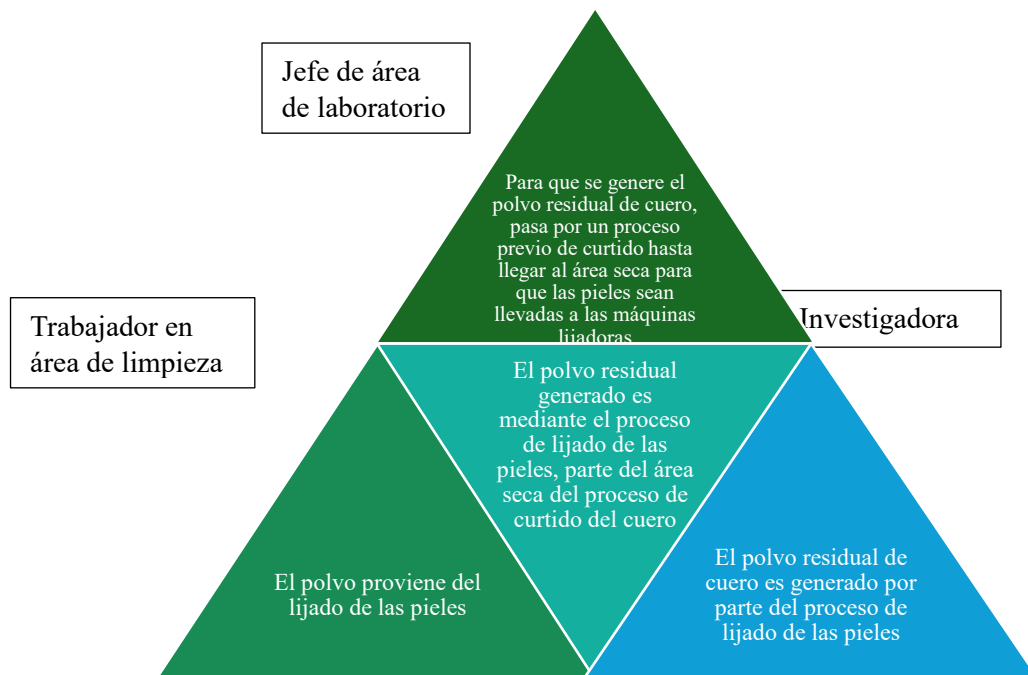


Figura 39. Tabulación primera pregunta.

2. ¿Qué cantidad aproximada de este residuo generan por semana o mes?

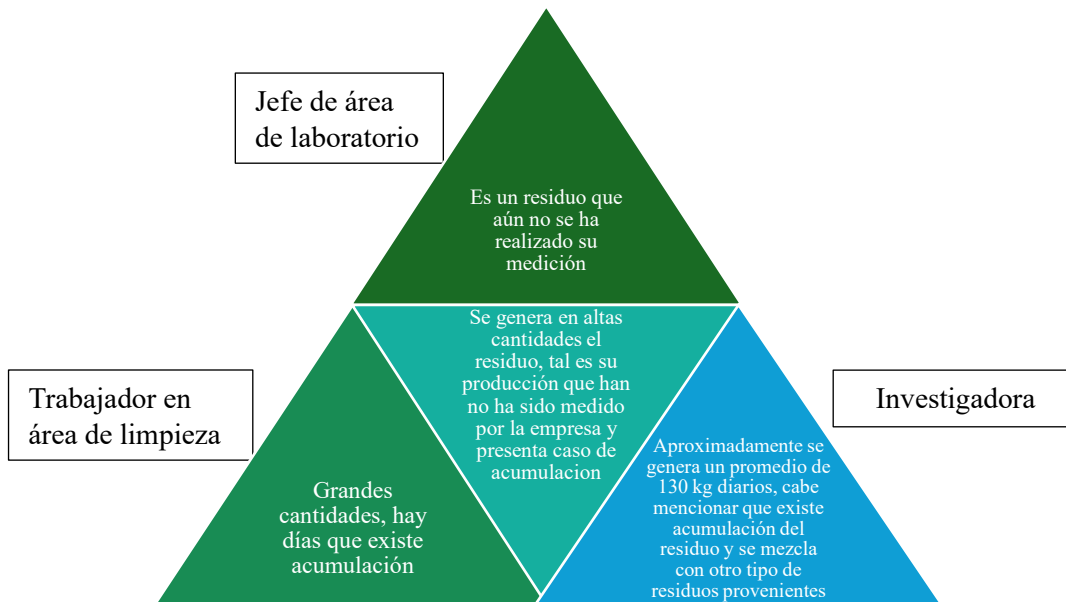


Figura 40. Tabulación segunda pregunta.

3. ¿Cuál es el tratamiento actual del polvo residual? ¿Existe algún tratamiento antes de su disposición?

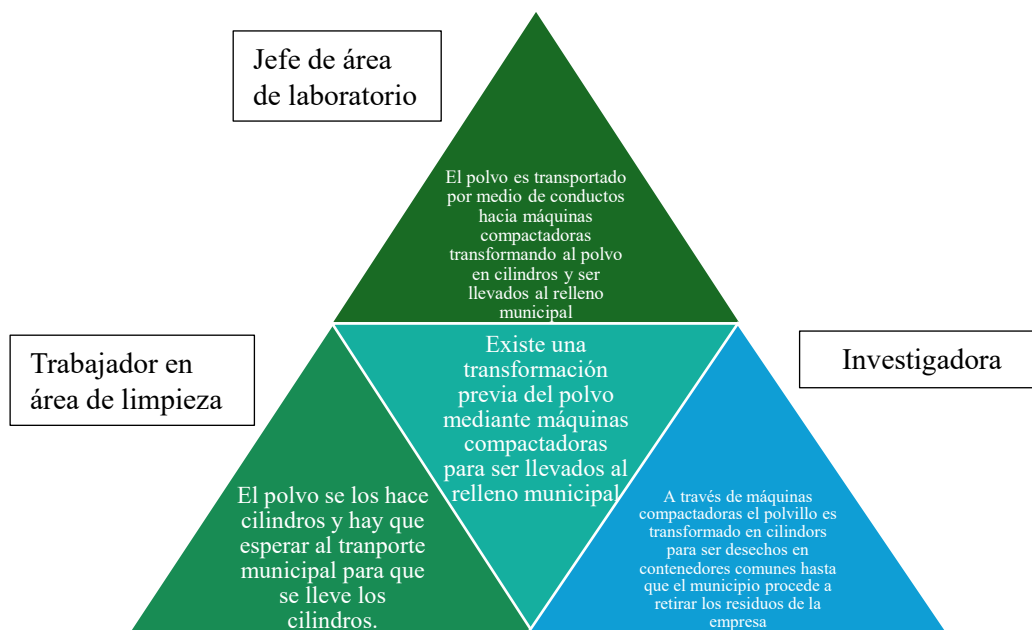


Figura 41. Tabulación tercera pregunta.

4. ¿Existen variaciones en el tipo o calidad del polvo residual según el proceso de curtido o tipo de piel?

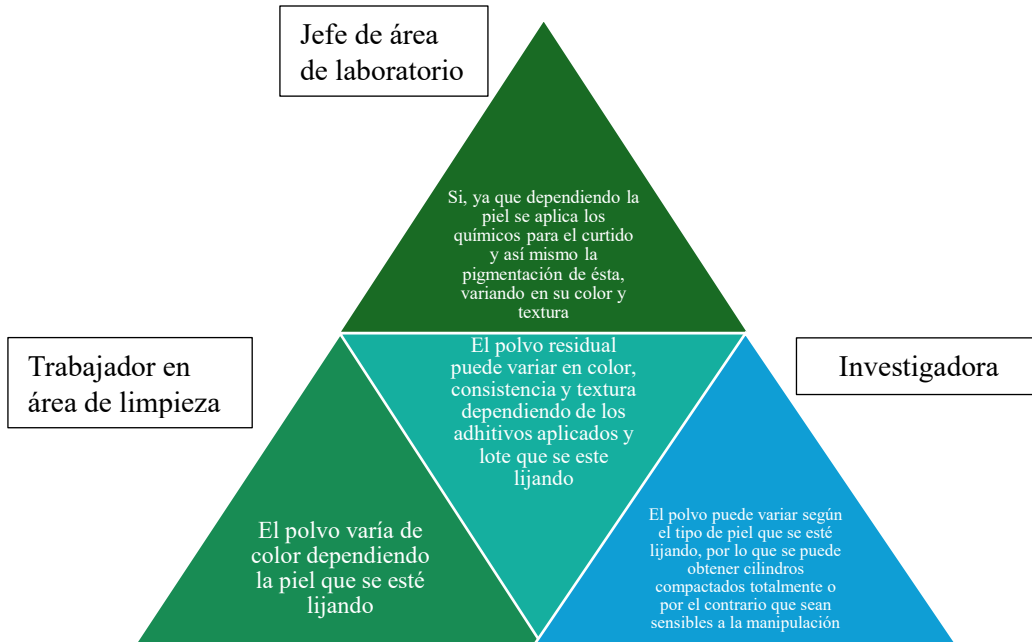


Figura 42. Tabulación cuarta pregunta.

Podemos decir que para el primer área del método aplicado, la entrevista, hemos obtenido información relevante como que actualmente dentro de la empresa no existe un tratamiento a más del normado por el ministerio del ambiente de ser llevado los residuos por los municipios a los rellenos sanitario, sabiendo que previo a su desecho son transformados en cilindros por medio de máquinas compactadoras, obteniendo cilindros de distintos colores, texturas y volúmenes, debido a sus distintos tratamientos por piel, además, sabemos que por parte de la empresa no existe una cantidad determinada de la generación del residuo proveniente del proceso de lijado de las pieles en el área seca del proceso de curtido.

Área 2: Sostenibilidad y gestión ambiental

5. ¿Considera que el polvo residual representa un problema ambiental para la empresa o su entorno? ¿Por qué?

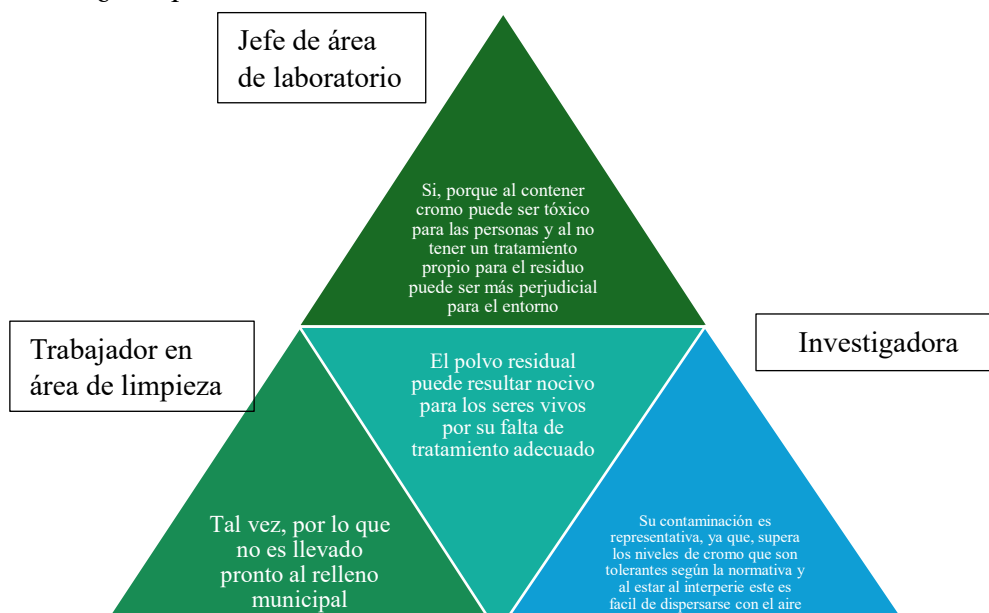


Figura 43. Tabulación quinta pregunta.

6. ¿Han participado o conocido de proyectos que busquen mitigar la contaminación generada por los residuos? ¿Cómo fue esa experiencia?

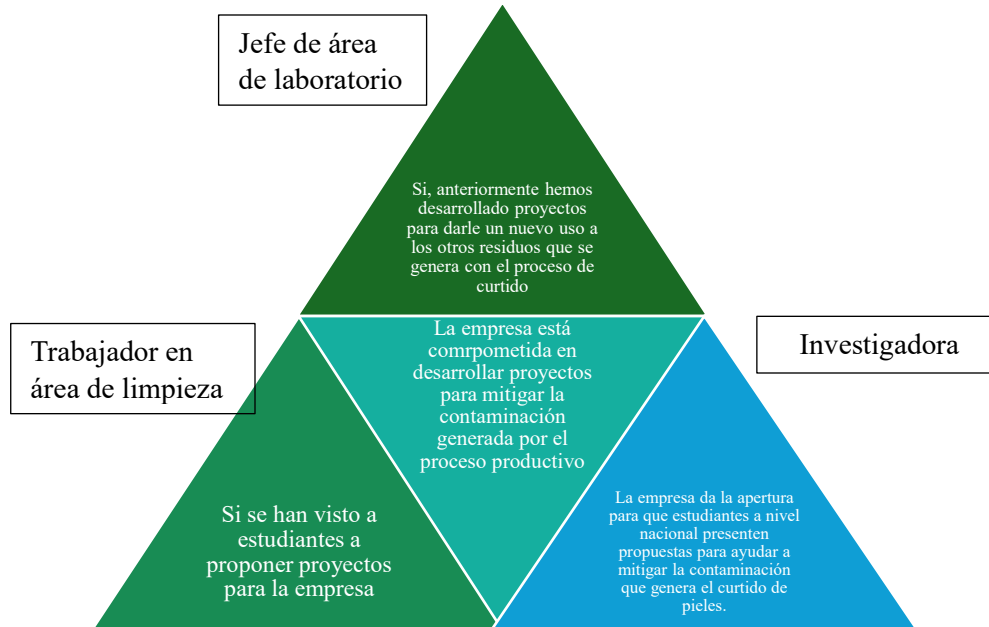


Figura 44. Tabulación sexta pregunta.

7. ¿Qué tan dispuesto estaría su empresa a colaborar con propuestas que busquen aprovechar este residuo en nuevos materiales?

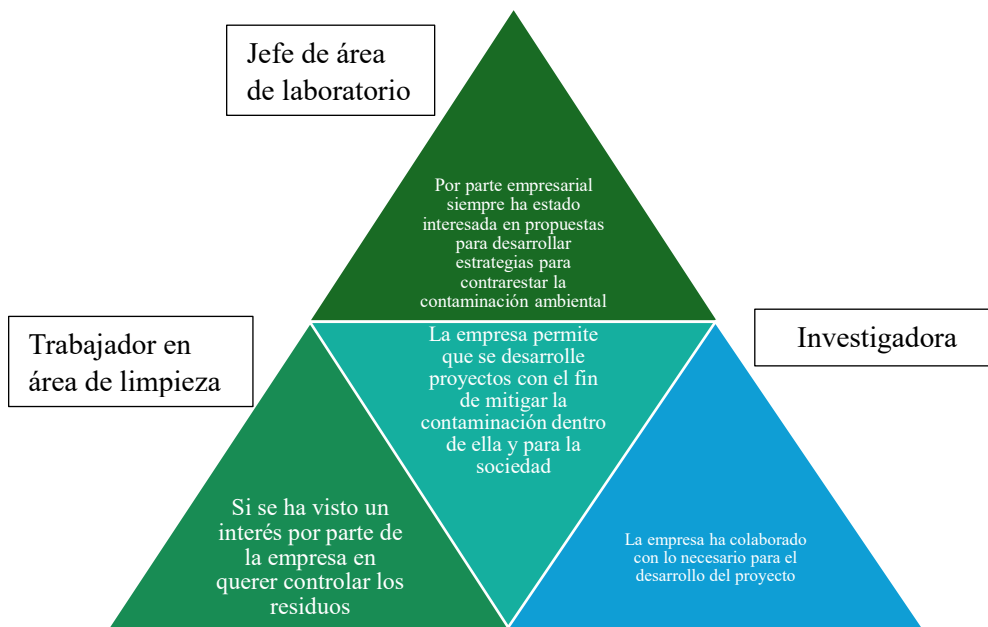


Figura 45. Tabulación séptima pregunta.

8. ¿Qué beneficios o limitaciones percibe en la reutilización del polvo residual desde el punto de vista ambiental y operativo?

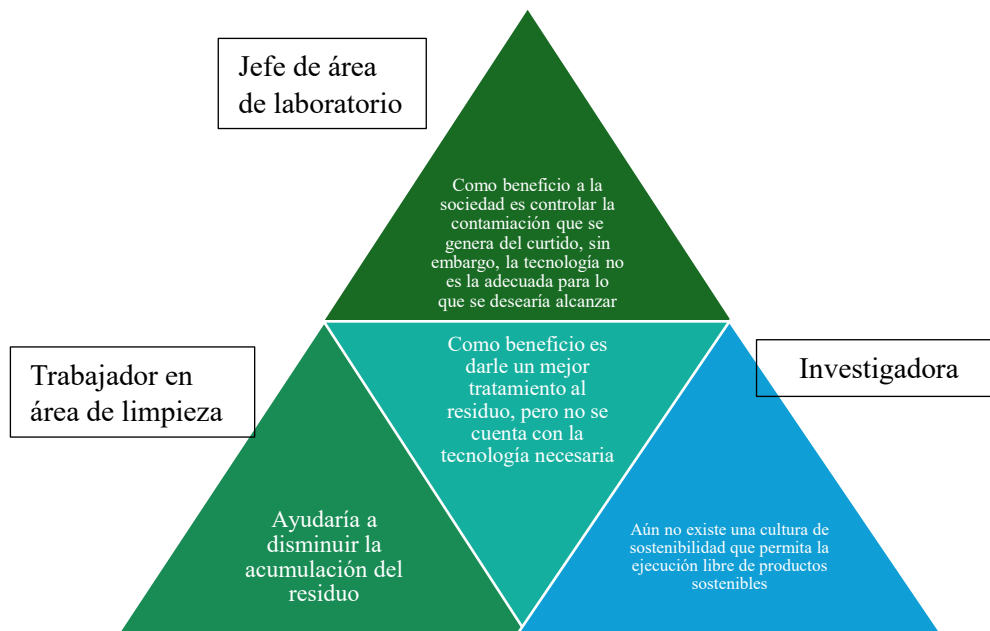


Figura 46. Tabulación octava pregunta.

Para la segunda área de la entrevista hemos concluido que por parte de la empresa existe un compromiso para mitigar la contaminación generada dentro de sus procesos productivos, ya que, saben de los riesgos que pueden causar el mal manejo de estos desechos, por tal motivo anteriormente han desarrollado proyectos junto a otros investigadores para manejar los otros tipos de residuo que podemos encontrar dentro del proceso de curtido, sabiendo que sus resultados no solo puede alcanzar un beneficio empresa, sino uno más macro, sin embargo en la realidad en que nos encontramos sabemos que no se puede contar con la tecnología necesaria para tener un alcance más beneficioso.

Área 3: Innovación y viabilidad comercial

9. ¿Qué propiedades considera esenciales que debería tener un material hecho con este residuo para que sea viable en el mercado?

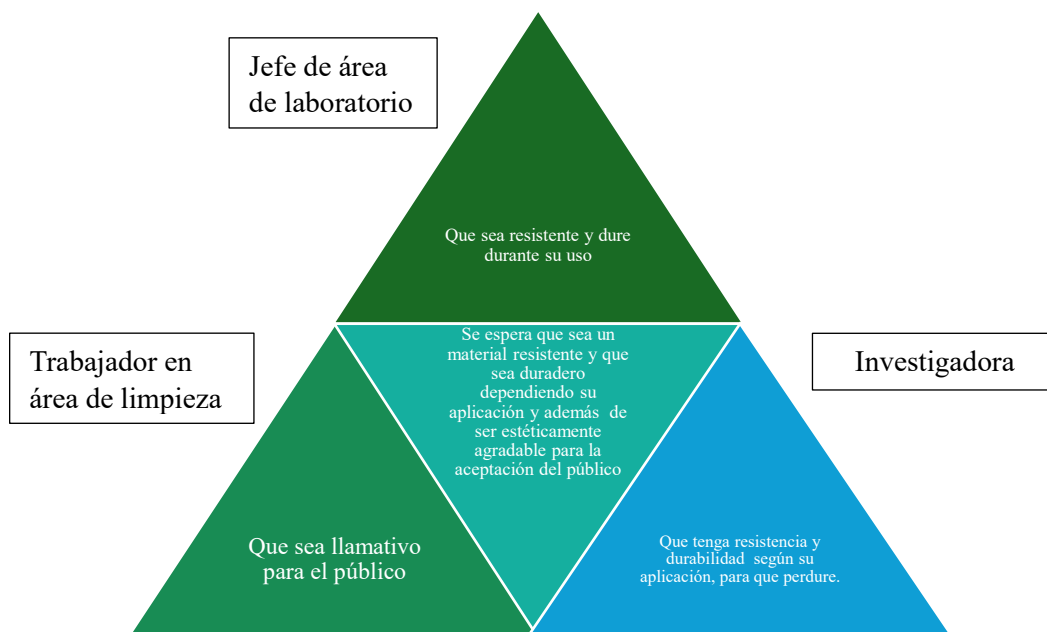


Figura 47. Tabulación novena pregunta.

10. ¿En qué tipo de productos o sectores cree que podría utilizarse un material compuesto elaborado con polvo de cuero?

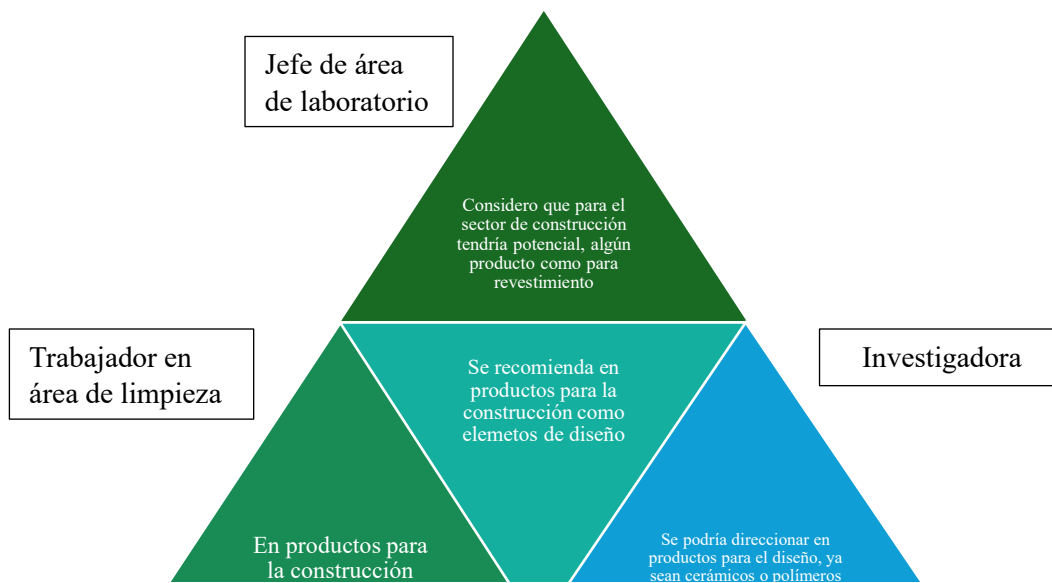


Figura 48. Tabulación décima pregunta.

11. ¿Qué factores cree que podrían influir en la aceptación o rechazo de este tipo de materiales por parte del consumidor o de la industria?

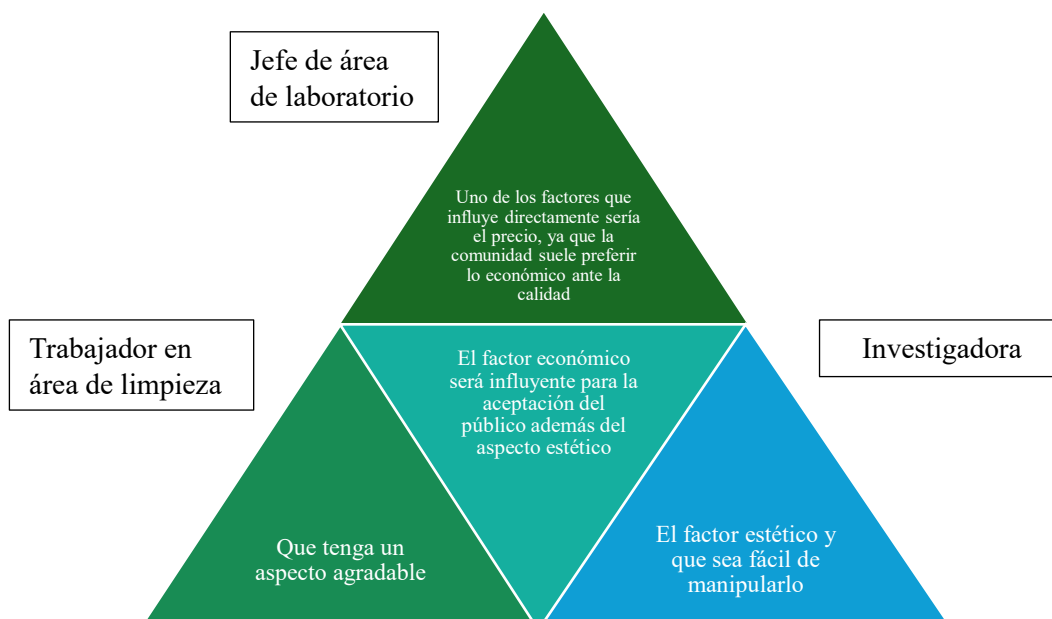


Figura 49. Tabulación décima primera pregunta.

12. Si se lograra desarrollar un material funcional y sostenible, ¿la empresa estaría interesada en utilizarlo o comercializarlo?

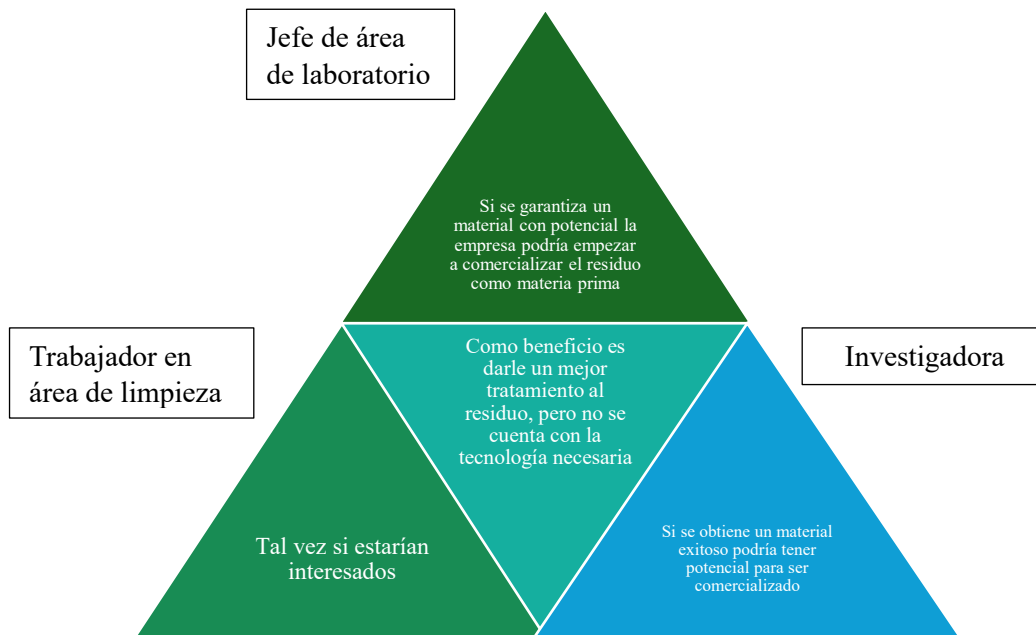


Figura 50. Tabulación décima segunda pregunta.

En resumen de la tercera área de la entrevista sabemos ahora que el material que se desarrolle debe de ser resistente y duradero para el uso que se le vaya asignar, así mismo se recomienda que sea direccionado para el sector de la construcción y así si se obtiene un producto tanto funcional como estético por parte de la empresa puede iniciar la comercialización del residuo como materia prima para la industria a seleccionar, sin embargo, existe el factor económico que puede influir en la aceptación por parte del mercado.

Tabla 16. *Análisis de triangulación*

Pregunta	Entrevista 1	Entrevista 2	Investigadora
	Categorías		
1	Proceso productivo	Lijado de pieles	Resultado de proceso de lijado
2	No hay datos oficiales	Acumulación	137 kg aprox. Por día
3	Polvo residual compactado	Llevado por el municipio	Polvo compactado y llevado a vertedero municipal
4	Dependencia del proceso de curtido	La piel	Depende del lote
5	Perjudicial para el entorno	Demora en ser desechado	Tóxico por altos niveles de cromo
6	Proyectos con otros residuos	Propuestas de estudiantes	Propuesta para la empresa
7	Depende del potencial	Interés por parte de la empresa	Desarrollo del proyecto
8	Tecnología	No acumulación	Tiempo
9	Duradero	Llamativo	Resistente
10	Revestimiento	Construcción	Diseño de interior
11	Precio	Precio	Manipulación
12	Comercializar	Interés	Comercializar

Podemos observar en la **Tabla 16** las categorías pertinentes para el desarrollo del proyecto, destacando aspectos que pueden influir en la toma de decisiones para la ejecución del material compuesto propuesto.

3.1.2 Análisis de ensayos sometidos al compuesto

Presentamos los resultados obtenidos ante primer ensayo que se efectuó, tal fue el caso el de tracción bajo la normativa ASTM D638. Al ser una prueba aplicada para establecer las propiedades mecánicas presentes en materiales de distinto origen. Con el fin de evaluar la resistencia al ser sometido a fuerzas de tracción o estiramiento del material.

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	ensayo traccion.xtas	Nombre de metodo de ensayo	traccion ASTM D638.xmas
Fecha de informe	5/19/2025	Fecha de ensayo	5/19/2025
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Traccion
Velocidad	5mm/min	Forma	Plana
Nº de partidas:	1	Nº de muestras:	3

Nombre	Elastico_Devided	Rotura_Fuerza	Rotura_Desplazamiento	Max_Fuerza
Parametros	10 Intervalos:	Sensibilidad 10	Sensibilidad 10	Calc. at Entire Areas
Unidad	GPa	N	mm	N
1_1	2.18270	3191.94	3.54409	3191.94
1_2	1.37463	2208.21	5.36908	2208.28
1_3	1.19749	958.292	3.78159	1237.86

Nombre	Max_Tension	Max_Desplazamiento	Max_Deformacion
Parametros	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas
Unidad	N/mm2	mm	%
1_1	29.5550	3.54409	3.54409
1_2	21.2335	5.36658	5.36658
1_3	11.4617	3.34908	3.34908

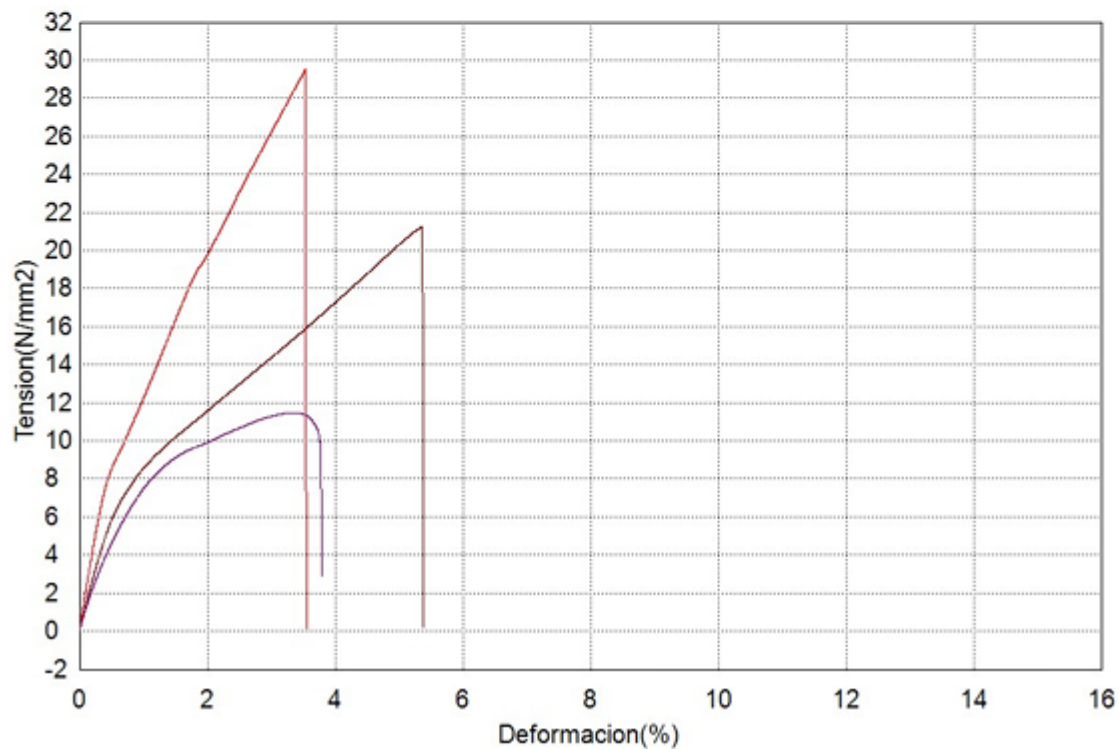


Figura 51. Ensayo de tracción

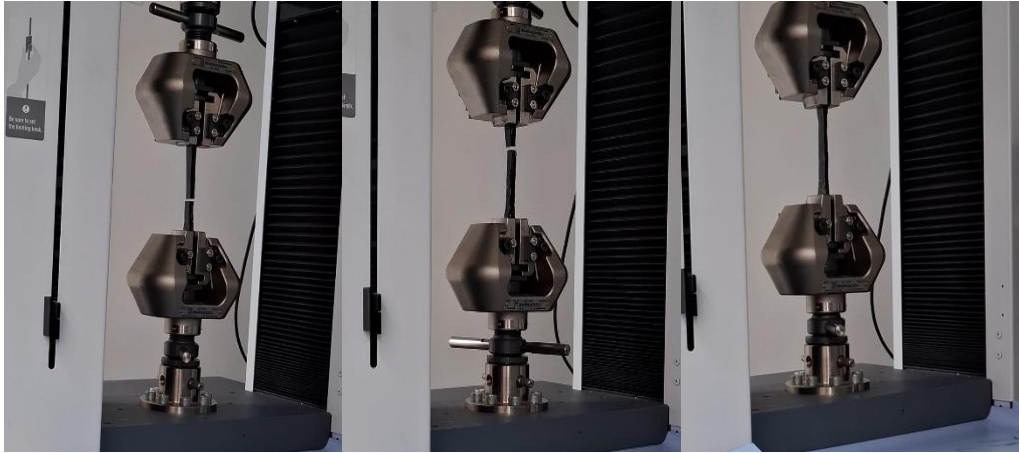


Figura 52. *Probetas sometidas a ensayo de tracción*

Las tres probetas elaboradas por el método sándwich bajo la norma anteriormente mencionada, fueron sometidas a ensayos de tracción. Donde cada probeta está compuesta por dos capas de resina epóxica con una capa intermedia de polvillo residual de cuero. Con el objetivo de evaluar su módulo de elasticidad, resistencia máxima y deformación, con el objetivo de determinar cuál formulación termina siendo la de mayor efectividad para aplicación de un producto.

A continuación, podemos observar los resultados obtenidos a través del ensayo sometido:

Tabla 17. *Resultado de ensayo de tracción aplicado a probetas.*

Probeta	Módulo elástico (GPa)	Tensión máxima (MPa)	Deformación (%)
30:70	2,18	29,56	3,54
40:60	1,37	21,23	5,37
50:50	1,20	11,46	3,35

Entonces, observamos que la probeta con relación 30:70 presenta mejor comportamiento mecánico, con una tensión máxima de 29,56 MPa y un módulo de elasticidad de 2,18 GPa, teniendo una deformación moderada del 3,54%. lo que nos indica que este compuesto tiene una estructura de mayor rigidez, también una mayor cohesión interna y menor porosidad. A comparación de la probeta 50:50 que muestra un menor desempeño, al tener una resistencia significativamente más baja de 11,46 MPa, lo cual podría decirse que su causante es a un posible déficit de encapsulamiento entre las capas de resina.

Se realizaron ensayos de dureza siguiendo la norma ASTM D2240. Con el fin de evaluar la resistencia superficial del material compuesto, realizamos un ensayo de dureza en cada probeta aplicando cinco mediciones por probeta: en el centro y en cada una de sus esquinas. Analizando la homogeneidad superficial del compuesto realizado. A continuación, observamos los resultados obtenidos durante el ensayo:

Tabla 18. Resultados de ensayo de dureza.

Probeta	Punto 1	Punto 2	Punto 3 (centro)	Punto 4	Punto 5	Promedio
30:70	0,11	0,06	0,16	0,04	0,11	0,096
40:60	0,79	0,73	0,91	0,90	0,86	0,838
50:50	0,85	0,79	0,79	0,90	0,71	0,808



Figura 53. Probetas sometidas a ensayo de dureza

En la probeta 1 podemos observar valores bajos de dureza, con un promedio de 0,096, indicando una superficie frágil y poco resistente, posiblemente por falta de curación adecuada. Al contrario de las probetas 2 y 3 donde sus valores promedios son de 0,838 y 0,808 respectivamente, lo que nos muestra una óptima resistencia superficial y adecuada cohesión del material mediante el método sándwich. Estos resultados nos permiten reforzar la viabilidad del método y comportamiento del material ante su aplicabilidad.

3.1.2.1 Selección de formulación óptima

Una vez realizado los ensayos mecánicos correspondientes a las probetas realizadas bajo el método tipo sándwich, llevamos a cabo la comparación de resultados en base a los principios de resistencia a tracción y dureza superficial, siendo esenciales para la aplicación en la industria del material. Donde en el ensayo de tracción, la probeta 1 evidenció mejor comportamiento, alcanzando su tensión máxima de 29,56 MPa y un módulo de elasticidad de 2,18 GPa con una deformación del 3,54%. Lo que nos indica que posee una estructura rígida, buena cohesión y resistente a esfuerzos mecánicos, haciéndola adecuada para elementos no estructurales que requieran estabilidad y resistencia a la manipulación.

En cuanto al ensayo de dureza, las probetas 2 y 3 muestran valores altos y consistentes, con promedios de 0,838 y 0,808, respectivamente. Demostrando una buena formación de sus capas de resina y su buena protección central del polvillo residual de cuero, lo que lo hace favorable para la durabilidad superficial del material compuesto al poder estar sometido a fricción o un impacto moderado. No obstante, la probeta 1 al mostrar una mayor resistencia a la tracción, sus valores de dureza han sido considerablemente bajos, lo que nos indica una débil respuesta superficial, posiblemente a porosidad o deficiente método de curado. En contraste de la probeta 2 que, a más de presentar alta dureza, obtuvo un resultado aceptable a la tracción, lo que simboliza un buen equilibrio entre rigidez y resistencia superficial.

Entonces, podemos determinar que la formulación con mejores resultados obtenidos en los dos ensayos corresponde a la probeta 2, ya que, ofrece una combinación propicia entre resistencia mecánica, dureza superficial y homogeneidad entre sus capas, lo cual es primordial para el desarrollo del producto final. Validando, además, la aplicación del método sándwich, logrando encapsular el material central, polvillo residual de cuero, entre capas de resina de una manera más eficiente, lo que nos permite obtener un compuesto apto para aplicaciones decorativas o funcionales de interior.

3.1.3 Discusión

En la presente investigación se centró en el desarrollo de un material compuesto a partir de polvo residual de cuero proveniente de Curtiduría Tungurahua, utilizando como matriz resina epóxica. Donde se evaluaron tres formulaciones distintas, en que la muestra con relación 40:60 obtuvo un mejor desempeño mecánico, con un módulo elástico de $1,37 \times 10^3$ MPa, una resistencia a la tracción de $2,12 \times 10^3$ Pa y una deformación de 5,37 %. Inclusive, en la prueba de dureza, esta formulación alcanzo un valor promedio de 0,838, lo que indica un comportamiento intermedio en términos de resistencia superficial. Para determinar la viabilidad del compuesto desarrollado, se realizó una comparación con polímeros de uso común **Tabla 19**, en este caso con el polipropileno (PP), según valores obtenidos por la base técnica de (Sonelastic, 2024). De acuerdo con Sonelastic, el PP presenta un módulo elástico entre $1,14 \times 10^3$ a $1,55 \times 10^3$ MPa, dependiendo de su grado de pureza, aditivos y condiciones de procesamiento.

Tabla 19. Módulos de elasticidad en polímeros. Fuente: (Sonelastic, 2024)

Material	Módulo de elasticidad (GPa)
Policloruro de vinilo (PVC)	2,41 – 4,14
Epoxi	2,41
Fenólico	2,76 – 4,83
Nailon	1,59 – 3,79

Politereftalato de butileno (PBT)	1,93 – 3,00
Policarbonato (PC)	2,38
Poliéster termoestable	2,06 – 4,41
Poliestireno (PS)	2,28 – 3,28
Poliéster éter cetona (PEEK)	1,10
Polietileno de baja densidad (LDPE)	1,08
Politereftalato de etileno (PET)	2,76 – 4,14
Polimetacrilato de metileno (PMMA)	2,24 – 3,24
Polipropileno (PP)	1,14 – 1,55

Tabla 20. Comparación de valores entre material propuesto y Polipropileno.

Propiedad	Material propuesto	Polipropileno
Módulo elástico (MPa)	1,37	1,14 – 1,55
Resistencia a la tracción (MPa)	2,12	2 – 3
Deformación (%)	5,37	2 – 50
Dureza relativa (prom)	0,838	-

Es evidente en la comparación que el material compuesto con relación 40:60 se encuentra dentro del rango típico de propiedades del polipropileno, especialmente en su forma copolimérica o modificada con cargas. Siendo una similitud significativa, ya que posiciona al nuevo material como una alternativa viable y sostenible ante polímeros comerciales utilizados en la industria del mobiliario, revestimiento de interiores, objetos moldeados de bajo esfuerzo estructural y productos de diseño de interior. Si bien el PP se caracteriza por su bajo costo, su fácil manipulación y buena resistencia a impactos, podemos considerar que el valor agregado del material propuesto en la investigación es la incorporación de residuos industriales, favoreciendo a la economía circular. Asimismo, su comportamiento mecánico moderado y su dureza intermedia, lo hace apto

para la aplicación donde no se requiere una resistencia estructural elevada, pero si una funcional y estética.

Con el fin de contextualizar el propósito del material desarrollado, se ha realizado una comparación con las Placas Decorativas de Resina 3-Form de Polimertecnic, las cuales se caracterizan por encapsular elementos orgánicos y sintéticos dentro de una resina ecológica completamente reciclable. Sin embargo, las propiedades mecánicas específicas de las placas 3-Form no se encuentran detalladas públicamente, se destaca su alta resistencia a rayaduras y su aplicación en revestimientos decorativos interiores. En comparación, el material desarrollado en esta tesis presenta una resistencia a tracción de 21,23 MPa, un módulo de elasticidad de 1,37 GPa y una dureza superficial relativa de 0.838, lo que indica un buen desempeño mecánico y una superficie resistente al desgaste.

Además, el uso de polvo residual de cuero como refuerzo en el material desarrollado aporta un valor añadido en términos de sostenibilidad, al reutilizar residuos industriales y reducir el impacto ambiental. Por lo tanto, el material propuesto no solo ofrece propiedades mecánicas adecuadas para aplicaciones de revestimiento interior, sino que también contribuye a la economía circular y la gestión sostenible de residuos.

Tabla 21. Comparación técnica de material propuesto y Placas decorativas de Resina 3-Form.

Propiedad	Material propuesto	Placas decorativas de resinas 3-Form
Tipo de matriz	Resina epóxica WESCO	Resina ecológica reciclable
Refuerzo	Polvo residual de cuero	Elementos orgánicos y sintéticos
Resistencia a tracción	21.23 MPa	No especificado
Módulo de elasticidad	1.37 GPa	No especificado
Dureza superficial	0.838	Alta resistencia a rayaduras
Aplicación	Revestimiento de interior	Revestimiento decorativo interior
Sostenibilidad	Uso de residuos	Resina reciclable

3.2 Verificación de la pregunta de investigación

Pregunta de investigación

¿Se puede obtener material compuesto a partir del polvo residual de cuero?

Se consideraron los resultados obtenidos en dos frentes: las entrevistas aplicadas a actores clave dentro de la empresa colaboradora, y los ensayos de laboratorio realizados sobre las probetas desarrolladas con polvo residual de cuero como componente principal del material compuesto.

Desde el enfoque cualitativo, las entrevistas aplicadas al jefe de laboratorio de la curtiembre y al trabajador encargado del área de limpieza permitieron conocer detalles relevantes sobre la generación, manejo y percepción del residuo. Donde se identificó que el polvo residual es un desecho que se produce diariamente en cantidades significativas y en su actualidad no recibe un tratamiento específico, siendo simplemente recolectado y enviado a disposición final. Ambos entrevistados reconocieron el potencial de reutilización de este residuo y expresaron una disposición favorable a colaborar en iniciativas sostenibles, siempre que estas cumplan con ciertos criterios técnicos y normativos.

Desde el enfoque experimental, se elaboraron varias probetas a partir de distintas proporciones del polvo residual mezclado con resina epóxica bajo el método sándwich. A estas muestras se les aplicaron ensayos de tracción y dureza, cuyos resultados permitieron seleccionar la formulación con el mejor desempeño. Si bien el material no está destinado a aplicaciones estructurales, las pruebas confirmaron que posee una resistencia adecuada para su uso en diseño de interiores, donde los esfuerzos mecánicos a los que estará expuesto son mínimos o moderados.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que sí es viable utilizar el polvo residual de curtiembre como componente principal en un material compuesto orientado a productos de diseño interior. La materia prima está disponible en cantidades suficientes, la empresa está abierta a iniciativas de aprovechamiento, y el material resultante presenta propiedades físicas y mecánicas adecuadas para aplicaciones no

estructurales. Además, el enfoque sostenible y el uso de residuos industriales le otorgan un valor agregado que favorece su inserción en propuestas de diseño con conciencia ambiental.

3.3 Propuesta de producto

Como propuesta para la aplicación de nuestro material compuesto ha sido la elaboración de un revestimiento modular para diseño de interior, donde se planteó un sistema de encapsulamiento parcial de la placa hexagonal hecha con el material compuesto. Permitiendo la inserción y remoción de la placa mencionada en caso de mantenimiento o sustitución. Partimos con el diseño del molde de figura hexagonal y su impresión en 3D. Una vez obtenido el molde procedemos a verter la primera capa de yeso, dejándole reposar durante 7 horas aproximadamente para conseguir un fraguado completo, garantizando que la primera capa del módulo sea sólida para el resto del material. Sobre la primera capa colocamos cuidadosamente la placa del material compuesto en el centro de la figura, que permita un encaje perfecto entre capas. Vertimos la segunda capa de yeso que cubra completamente a la placa, actuando como el cierre del módulo, lo que nos permite un desmoldeo sencillo para el momento de mantenimiento. Cabe mencionar que este sistema de encapsulamiento de la placa realizada con el material compuesto obtenido permite que el material utilizado, polvo residual de cuero pueda mantener un contacto cero con su entorno. Podemos observar en las **Figuras 52, 53. 54** como se desarrolló el diseño del módulo y la fabricación del prototipo.

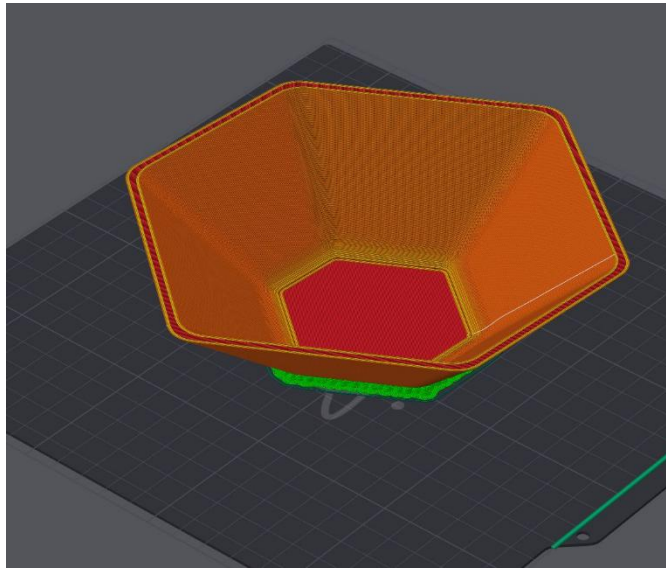


Figura 54. Modelado de módulo.



Figura 55. Aplicación para diseño de interior.



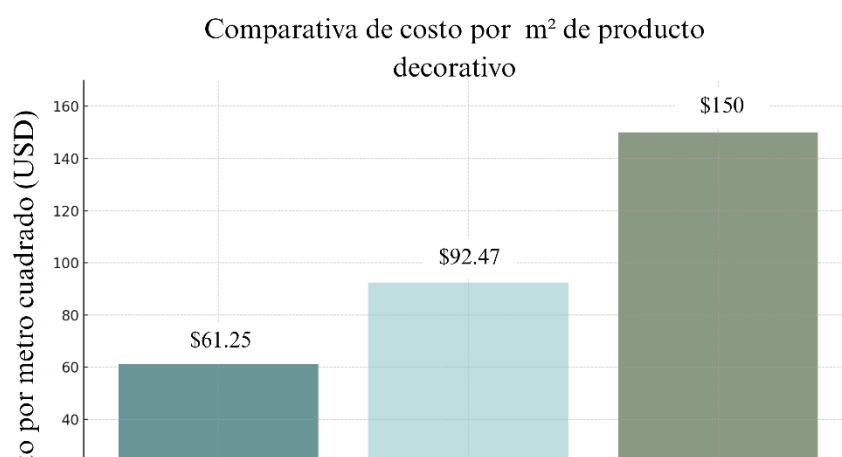
Figura 56. Prototipo de módulo.

3.3 Costos de producción

Tabla 22.. Costo de producción.

Materiales	Cnt	Costo Unitario/m ²	Total
Yeso	10	\$ 1,00	\$ 10,00
Molde	2	\$ 8,00	\$ 16,00
Pigmento	5	\$ 0,50	\$ 2,50
Desmoldante	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Diseño	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Mano de obra	1	\$ 9,40	\$ 9,40
Servicios básicos	1	\$ 1,44	\$ 1,44
Material compuesto	49	\$ 1,25	\$ 61,25
			\$ -
Sub total			\$ 128,59
15%			\$ 19,29
Costo total			\$ 147,88
Precio de venta (20%)			\$ 177,45
Precio por módulo (costo)			\$ 3,01
Precio por módulo (venta)			\$ 3,62

El análisis de costo de producción del material compuesto y sus componentes como producto muestra que el gasto mayor está en la materia prima del material compuesto. Con un costo total de producción de \$147,88, y considerando un margen del 20 % de ganancia, se establece un precio final de \$177,45 por metro cuadrado. Esto equivale a un precio de \$3,62 por módulo, indicando que estos valores han sido calculados sobre la base de la producción por metro cuadrado, mostrando una rentabilidad adecuada para cubrir gastos y obtener ganancia. También se recalca que este valor corresponde a una propuesta de producto integral (modular), sin embargo, si se estima únicamente el costo de fabricación del material compuesto como materia prima, su valor por metro cuadrado asciende a \$61,25. Este costo resulta competitivo frente a productos similares en el mercado internacional, como lo son las placas decorativas 3D fabricadas en resina o polímeros industriales, que pueden alcanzar precios promedio de entre \$70 y \$150 por metro cuadrado. Por tanto, el material propuesto no solo representa una alternativa viable en términos económicos, sino que añade valor agregado mediante el aprovechamiento de residuos, la sostenibilidad ambiental y su aplicación estética funcional en diseño de interiores. Cabe mencionar que se han considerado los costos de mano de obra y servicios básicos distribuidos en función de una producción mensual, lo cual permite mantener la escalabilidad y sostenibilidad del proyecto. Para una mejor comprensión se puede observar en la Figura 57 la diferencia de precio entre productos similares.



57. Comparativa de precios por metro cuadrado entre el material compuesto propuesto y productos similares del mercado.

Capítulo IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Se logró el desarrollo de un material compuesto a partir del polvillo residual de cuero, cumpliendo con el objetivo general de la investigación y aportando a las industrias de las curtiembres, presentando una alternativa a la gestión de residuos para reducir el impacto ambiental de estos desechos, agregándole valor a su potencial en uso para productos de diseño e incentivando al reuso de los residuos dentro de la industria.

Al conocer las propiedades físicas y químicas del polvillo residual de cuero en la Curtiduría Tungurahua, se identifica que es un material que está constituido por partículas irregulares, teniendo un peso variante, además, de contener compuestos potencialmente tóxicos como lo es el cromo trivalente, sobrepasando los límites establecidos por la ley.

En relación con el análisis sobre el manejo de los desechos dentro de la curtiduría, se determina que son desechos sin un tratamiento previo, lo que puede derivar en afectaciones a la salud de las personas y el ambiente. Al ser almacenado en grandes cantidades y ser enviado directamente al relleno sanitario. Además, de estar compuesto por cromo trivalente en altas cantidades.

Se obtuvo un material compuesto de matriz polimérica mediante la combinación de resina epóxica y distintas proporciones del polvillo residual de cuero, de las cuales la formulación 40:60 mostró un comportamiento mecánico mejor a diferencia de las otras formulaciones, con valores obtenidos a través de ser sometidas a ensayos de tracción y dureza, que al ser comparados con polímeros comerciales, presenta el material compuesto obtenido a partir del polvillo de cuero un módulo elástico de 1,37 MPa, resistencia a la tracción de 2,12 MPa, una deformación del 5,37% y una dureza relativa de 0,838.

Al evaluar las propiedades mecánicas del material compuesto se pudo analizar su aplicabilidad dentro del mercado, identificando que es un material competente para

productos de interiorismo que no estén sometidos bajo esfuerzos estructurales, ya sean paneles decorativos, revestimientos, mobiliario ligero entre otros favoreciendo también a una economía circular y a la sostenibilidad.

4.2 Recomendaciones

Promover la valorización de residuos industriales, principalmente dentro de la industria de las curtiembres, ya que al ser parte representativa de la economía dentro de la provincia y del país, a través de desarrollo de materiales alternativos con los residuos generados de sus procesos productivos se puede alcanzar una reducción de desechos enviados a los rellenos sanitarios. Explorando a nuevas alternativas de uso para

Para ampliar la aplicabilidad del material compuesto, se sugiere realizar estudios complementarios sobre estabilidad térmica, acústica e inflamabilidad del material compuesto y como modulo decorativo, para fortalecer su validación técnica frente a normativas de diseño de interior.

Incentivar el trabajo colaborativo entre el sector productivo y académico, para impulsar proyectos de economía circular aplicando el uso de residuos industriales, con el fin de lograr una colaboración que beneficie a todos los actores involucrados.

Bibliografía

- Alban, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 163–173. [https://doi.org/10.26820/RECIMUNDO/4.\(3\).JULIO.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/RECIMUNDO/4.(3).JULIO.2020.163-173)
- Alibaba. (n.d.). *Troquel De Plástico Darsen Astm D638* . Retrieved May 1, 2025, from https://www.alibaba.com/product-detail/Darsen-ASTM-D638-Dumbbell-Plastic-Die_1600682835026.html
- Alvarado, G. (2025). *INFORME DE RESULTADOS No. S25-001*.
- Ameneyro. (2024). *Razonamiento Inductivo desde Diversos Paradigmas de Investigación* . 269. <https://cienciaysociedaduatf.com/index.php/ciesocieuatf/article/view/159>
- Anabel Nava Gastelum, Miriam Siqueiros Hernández, Benjamín Gonzalez, Yuridia Vega, & Ismael Mendoza Muñoz. (2018). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de un material compuesto reforzado con fibras de carbono y las de su matriz polimérica de resina epóxica . *Revistamatéria*, 2. <https://www.scielo.br/j/rmat/a/qLzr9PHftKDmxtSJDDJpfKN/>
- Ángel, M., Romero, M., Raul, D., Tiza, H., Patricio, J., Murillo, M., Oved, D., Cervantez, O., & Izundegui Ordóñez, G. (2023). Método mixto de investigación: Cuantitativo y cualitativo. *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú*. <https://doi.org/10.35622/INUDI.B.105>
- ATLAS.ti. (n.d.). *Estudios de campo | Guía, técnicas y pasos* . Retrieved April 13, 2025, from <https://atlasti.com/es/research-hub/estudios-campo#que-es-la-investigacion-de-campo>
- Bastidas, D., Tecnológica-ESPOL, N. T.-R., & 2023, undefined. (n.d.). Actualidad de tratamientos y procesos de reciclaje de los residuos industriales de curtiembres en Ecuador y el mundo. *Rte.Espol.Edu.Ec*. <https://doi.org/10.37815/rte.v35n1.983>
- Bastidas Dayana Mishel, A. (2022). *FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA CARRERA DE INGENIERÍA BIOQUÍMICA*. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/49846dcc-eb5-4bff-b4e7-9203244d3a20/content>
- Bazoberri, J. A. (2021). Innovación sustentable. Diálogo entre la Ciencia de los Materiales y el Diseño de Industrial. *Cuadernos Del Centro de Estudios En Diseño y Comunicación. Ensayos*, 94, 27–42. <https://doi.org/10.18682/CDC.VI94.3885>
- Berdejo Nieve, R. A. (2024). *Simulación De Las Propiedades Mecánicas Y Térmicas De Un Material Compuesto De Matriz Polimérica Reforzado Con Fibras Naturales (Polietilentereftalato Pet (Pet)-Fibras De Coco)*. <http://repositorio.uac.edu.co/handle/11619/4142>

- Curtiduría Tungurahua S.A. (n.d.). *Proyecto Cuero Circular – Curtiduría Tungurahua S.A.*
Retrieved April 7, 2025, from <https://www.ctu.com.ec/inicio/proyecto-cuero-circular/>
- Dayana Anchatipán Bastidas, & Nelly Flores Tapia. (2023). *Actualidad de tratamientos y procesos de reciclaje de los residuos industriales de curtiembres en Ecuador y el mundo*. 71.
- Díaz Velásquez, D. M., Upegui Mayor, A. T., Arboleda Nava, J. A., & Lisseth Vásquez Mucúa, A. (2021). Los lípidos y sus generalidades. In A. A. , Álvarez-Ramírez, J. , López-Peláez, & L. A. Meneses-Urrea (Eds.), *Dislipidemias y estilos de vida de jóvenes, 2021, ISBN 978-958-5147-69-0, págs. 17-50* (p. 24). Universidad Santiago de Cali.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8493579&info=resumen&idioma=SPA>
- Dumée, L. F. (2022). Circular Materials and Circular Design—Review on Challenges Towards Sustainable Manufacturing and Recycling. *Circular Economy and Sustainability*, 2(1), 9–23.
<https://doi.org/10.1007/S43615-021-00085-2/METRICS>
- EUROFINS. (2024, August 9). *Norma ISO 14001 ¿Cuál es la legislación medioambiental que toda empresa debe conocer?* EUROFINS ENVIRONMENT TESTING SPAIN.
- Fenetaud, P., & Jacques, S. (2023). SiC/SiC ceramic matrix composites with BN interphase produced by gas phase routes: An overview. *Open Ceramics*, 15, 100396.
<https://doi.org/10.1016/J.OCERAM.2023.100396>
- Goyes-Balladares, A., Moya-Jiménez, R., Molina-Dueñas, V., Chaca-Espinoza, W., & Magal-Royo, T. (2025). What Inspires Biomimicry in Construction? Patterns, Trends, and Applications. *Biomimetics* 2025, Vol. 10, Page 259, 10(5), 259.
<https://doi.org/10.3390/BIOMIMETICS10050259>
- Guajala, M. E. R., Abril, C. M. M., Falcón, L. M. M., & Chalán, P. A. L. (2016). *GESTIÓN ECONÓMICA AMBIENTAL DEL SECTOR CURTIEMBRE DE AMBATO*.
- HERNÁNDEZ LÓPEZ, B. V. (2021). *Extracción del cromo de virutas de cuero provenientes de la industria del curtido mediante hidrólisis alcalina en un tambor de curtido*.
<https://ciatec.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1019/223>
- Hubbe, M. A. (2023). Sustainable Composites: A Review with Critical Questions to Guide Future Initiatives. *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 11088, 15(14), 11088.
<https://doi.org/10.3390/SU151411088>
- INEC. (2020). *Módulo de Información Económica Ambiental en Empresas*.
- INFINITIA Industrial Consulting. (2022, July 8). *Caracterización de materiales*.
<https://www.infinitiaresearch.com/laboratorio-ingenieria-industrial/caracterizacion-materiales/>
- Intertek. (n.d.). *Dureza Shore ASTM D2240*. Retrieved May 1, 2025, from
https://www.intertek.com/polymers-plastics/testlopedia/shore-hardness-astm-d2240/?utm_source=chatgpt.com

- Isaías Martínez-Corona, J., Palacios-Almón, G. E., Dubelza, Y., & Oliva-Garza, B. (2023). Guía para la revisión y el análisis documental: propuesta desde el enfoque investigativo. *Revista Ra Ximhai*, 19(1), 67–83. <https://doi.org/10.35197/RX.19.01.2023.03.JM>
- Jesica. (2013, December 16). *Tabla de Tamices Astm* |. <https://es.scribd.com/doc/191770685/Tabla-de-Tamices-Astm>
- Joustra, J., Flipsen, B., & Balkenende, R. (2021). Circular design of composite products: A framework based on insights from literature and industry. *Sustainability (Switzerland)*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/SU13137223>
- Juan Esteban Arias Valencia. (2021). *Desarrollo de un nuevo material a partir de la transformación de residuos sólidos provenientes del sector marroquinero y la fabricación de calzado*. . Universidad Católica de Pereira .
- Karunarathne, A., Nabiyeve, G., Rasmussen, C. J., Alkhoury, K., Assem, N., Bauer, J., Chester, S. A., Khalizov, A. F., & Gor, G. Y. (2024). Effects of Humidity on Mycelium-Based Leather. *ACS Applied Bio Materials*. https://doi.org/10.1021/ACSABM.4C00586/SUPPL_FILE/MT4C00586_SI_001.ZIP
- Kiliç, E., Tarrés, Q., Delgado-Aguilar, M., Espinach, X., Fullana-I-palmer, P., & Puig, R. (2020). Leather waste to enhance mechanical performance of high-density polyethylene. *Polymers*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/polym12092016>
- Libro-VI-Calidad-Ambiental, Pub. L. No. 78 (2015).
- López, J. (2024, September 20). *Materiales Compuestos: Innovaciones y Aplicaciones*. <https://inspenet.com/articulo/innovaciones-aplicaciones-materiales-compuestos/>
- Lourdes Ramos Galicia, & Eduardo Enrique Pérez Ramírez. (2023). NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS DE CARBONO: ¿QUÉ SON Y PARA QUÉ SIRVEN? *Expresiones UVM*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/POLYM10030281>
- Maciej Serda, Becker, F. G., Cleary, M., Team, R. M., Holtermann, H., The, D., Agenda, N., Science, P., Sk, S. K., Hinnebusch, R., Hinnebusch A, R., Rabinovich, I., Olmert, Y., Uld, D. Q. G. L. Q., Ri, W. K. H. U., Lq, V., Frxqwu, W. K. H., Zklfk, E., Edvhg, L. V, ... ح. فاطمی. (2020). Economía circular y el papel de la innovación. *Uniwersytet Śląski*, 7(1), 343–354. <https://doi.org/10.2/JQUERY.MIN.JS>
- MAURICIO TORRES ARELLANO, Saul Ledesma-Ledesma, Nayeli Camacho, Perla Alcantara-Llanas, & Pedro Gonzalez-Garca. (2024). *Estado del arte de materiales para estructuras CubeSat*.
- Mexpolimeros. (n.d.). *Stress strain - Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos*. Retrieved April 29, 2025, from <https://www.mexpolimeros.com/lab/stress%20strain.html>

- Milu, M. S., Hashem, M. A., Payel, S., & Hasan, M. A. (2022). Leather buffing dust in brick production: Solid waste management in tanneries. *Case Studies in Construction Materials*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01625>
- Ministerio del Ambiente, A. y T. E. (2012). *ESTUDIO DE POTENCIALES IMPACTOS AMBIENTALES Y VULNERABILIDAD RELACIONADA CON LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS Y TRATAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS EN EL SECTOR PRODUCTIVO DEL ECUADOR*. <https://www.ambiente.gob.ec/proyecto-saicm/>
- Miquinga. (2024). *Evaluación de la biodegradación y propiedades mecánicas de diferentes formulaciones de bioplástico obtenidas a partir del aprovechamiento de colágeno residual y almidón de papa (Solanum tuberosum)* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/42322>
- Núñez Núñez, C. B. (2022). *Reutilización de Remanentes de Cuero como un Aporte en el Ecodiseño de Mobiliario para el Centro Cultural Universitario de la Universidad Técnica De Ambato*. Universidad Técnica de Ambato.
- Ojalvo Guiberteau, C. (2021). *Procesado de nuevos materiales compuestos ultraduros basados en b4c mediante sinterización por descarga eléctrica pulsada asistida con fase líquida transitoria*. 1. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=304460&info=resumen&idioma=ENG>
- Paucar Samaniego, M. A., Santamaría Aguirre, J. L., Amancha, P., & Pilamunga Poveda, M. (2024). Leather Industry Waste Management for Architectural Design. *Sustainability* 2024, Vol. 16, Page 1467, 16(4), 1467. <https://doi.org/10.3390/SU16041467>
- Phiri, R., Mavinkere Rangappa, S., Siengchin, S., Oladijo, O. P., & Ozbakkaloglu, T. (2024). Advances in lightweight composite structures and manufacturing technologies: A comprehensive review. *Heliyon*, 10(21), e39661. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E39661>
- Primicias. (2025, March). *En Tungurahua, la industria busca reducir el impacto ambiental por tratamiento del cuero*. https://www.primicias.ec/sociedad/tungurahua-industria-busca-reducir-impacto-ambiental-tratamiento-cuero-90998/?utm_source=chatgpt.com
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (n.d.). *LOS ODS EN ACCIÓN*.
- Radoï, L., Sylla, F., Matrat, M., Barul, C., Menvielle, G., Delafosse, P., Stücker, I., Luce, D., Guizard, A. V., Danzon, A., Woronoff, A. S., Velten, M., Buemi, A., Marrer, É., Trétarre, B., Colonna, M., Bercelli, P., Molinié, F., Bara, S., ... Pilorget, C. (2019). Head and neck cancer and occupational exposure to leather dust: Results from the ICARE study, a French case-control study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 18(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S12940-019-0469-3/TABLES/3>
- Rajak, D. ; K. ;, Joshi, T. ;, Singh, D. K. ;, Mondal, D. P., Fantozzi, G., Halloran, J. W., Shrivastava, S., Kumar Rajak, D., Joshi, T., & Singh, D. K. (2024). Ceramic Matrix Composites:

Classifications, Manufacturing, Properties, and Applications. *Ceramics* 2024, Vol. 7, Pages 652-679, 7(2), 652–679. <https://doi.org/10.3390/CERAMICS7020043>

- Rajak, D. K., Pagar, D. D., Kumar, R., & Pruncu, C. I. (2019). Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6354–6374. <https://doi.org/10.1016/J.JMRT.2019.09.068>
- Raphael Zurita-Caisaguano, J. I., Andrés Jácome-Guevara III, F., & Angel Coello-Tapia, L. I. (2022). Análisis sistemático de estructuras de materiales compuestos (carbono-epoxi) tipo sándwich, utilizadas en aplicaciones aeronáuticas. *Dominio de Las Ciencias, ISSN-e 2477-8818, Vol. 8, N°. 2, 2022 (Ejemplar Dedicado a: Abril-Junio 2022)*, 906 Págs., 8(2), 886–906. <https://doi.org/10.23857/dc.v8i2.2682>
- Rognoli, V., Anselmi, L., Duarte Poblete, S., Rognoli, V., Anselmi, L., & Soledad Duarte Poblete, S. (2022). Materiales alternativos emergentes. Un enfoque de diseño sostenible. *Cuadernos Del Centro de Estudios En Diseño y Comunicación. Ensayos, ISSN-e 1853-3523, ISSN 1668-0227, N°. 166, 2022 (Ejemplar Dedicado a: Unicornios: Una Cuestión de Diseño, Economía y Tecnología)*, Págs. 123-132, 166, 123–132. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8717286&info=resumen&idioma=SPA>
- Sarwar, F., Malik, R. N., Chow, C. W., & Alam, K. (2018). Occupational exposure and consequent health impairments due to potential incidental nanoparticles in leather tanneries: An evidential appraisal of south Asian developing countries. *Environment International*, 117, 164–174. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.04.051>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2024). *Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025*. <https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-desarrollo-para-el-nuevo-ecuador-2024-2025/>
- Sonelastic. (2024). *Módulo elástico y coeficiente de Poisson de materiales poliméricos*. <https://www.sonelastic.com/es/fundamentos/tablas-propiedades-materiales/polimeros.html>
- Torres Hernández, Y. G., Sánchez Alonso, X., Altamirano Torres, A., Torres-Hernández, Y. G.-0001-9299-5778, & ALTAMIRANO TORRES, A. 44568. (2022). Evaluación mecánica de un material compuesto de resina epóxica y partículas de una aleación de Aluminio 2024. *Revista Tendencias En Docencia e Investigación En Química*, 2022. <https://hdl.handle.net/11191/9594>
- Ulfat, W., Mohyuddin, A., Amjad, M., Kurniawan, T. A., Mujahid, B., Nadeem, S., Javed, M., Amjad, A., Ashraf, A. Q., Othman, M. H. D., Hassan, S., & Arif, M. (2023a). Reuse of Buffing Dust-Laden Tanning Waste Hybridized with Poly- Styrene for Fabrication of Thermal Insulation Materials. *Sustainability*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/SU15031958>
- Ulfat, W., Mohyuddin, A., Amjad, M., Kurniawan, T. A., Mujahid, B., Nadeem, S., Javed, M., Amjad, A., Ashraf, A. Q., Othman, M. H. D., Hassan, S., & Arif, M. (2023b). Reuse of

Buffing Dust-Laden Tanning Waste Hybridized with Poly- Styrene for Fabrication of Thermal Insulation Materials. *Sustainability*, 15(3), 1958. <https://doi.org/10.3390/su15031958>

Universidad UDAX. (2023, October). *La Revolución de los Materiales Compuestos: Un Nuevo Horizonte en la Producción*.

Vallejos Manuel. (2022). *Materiales compuestos. Tipos, propiedades y aplicaciones* . <https://www.youtube.com/watch?v=wwHfkzFtq74>

William McDonough, & Michael Braungart. (2005). *CRADLE TO CLADLE (DE LA CUNA A LA CUNA). REDISEÑANDO LA FORMA EN QUE HACEMOS LAS COSAS* (A. García, Ed.).

Zhao, X., Zhang, Z., Pang, J., & Su, L. (2023). Preparation of carbon fibre-reinforced composite panels from epoxy resin matrix of nano lignin polyol particles. *Journal of Cleaner Production*, 428, 139170. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2023.139170>

ZwickRoell. (n.d.). *ASTM D638: Características de tracción en materiales plásticos* . Retrieved May 1, 2025, from <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/propiedades-de-traccion-astm-d638/>

Anexos

Anexo. 1 Depósito de residuos



Anexo. 2 Pesaje de cilindro residual de cuero.



Anexo. 3 Probetas de tracción tras ensayo



Anexo. 4 Probetas de dureza tras ensayo.

