

**ESCUELA SUPERIOR AUTÓNOMA DE BELLAS ARTES
DIEGO QUISPE TITO DEL CUSCO**

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ARTE DIEGO QUISPE TITO DEL CUSCO

**Facultad de Arte
Carrera Profesional de Conservación y Restauración de
Obras de Arte**



Modelización digital e impresión 3D de faltantes volumétricos de la escultura policromada San Lucas para su conservación y restauración

Asesor de Especialidad : Lic. Rocío del Carmen Acurio Guevara

Asesor Metodológico : Mg. Teresa de Jesús Díaz Vera

Tesis presentado por el bachiller:
Yordany Mijael Diaz Quispe

Para optar a Título Profesional de Licenciado en
Conservación y Restauración de Obras de Arte.

Cusco – 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

EL QUE SUSCRIBE, ASESOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/TESIS TITULADO

Modelización Digital e Impresión 3D de Faltantes Volumétricos de la
Escultura Policromada San Lucas Para su Conservación y Restauración

Presentado
por:

Yordany Mijael Diaz Quispe

DNI, N°:

44867599

Para optar el título profesional/grado académico de:

Licenciado en conservación y restauración

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por

(02) veces

Mediante el Software Antiplagio y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de

(17)%

EVALUACIÓN Y ACCIONES DEL REPORTE DE COINCIDENCIA PARA TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN CONDUCTENTES A GRADO ACADÉMICO O TÍTULO PROFESIONAL, TESIS

PORCENTAJE	EVALUACIÓN Y ACCIONES	Marque con una (X)
Del 1 al 25%	Nivel de similitud de fuente aceptable	X
Mas de 26 %	Devolver al usuario para las correcciones	

Por tanto, en mi condición de asesor metodológico, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del Sistema Antiplagio.

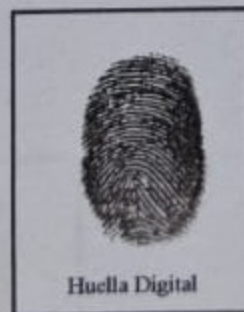
Cusco, 13 de marzo de 2026

Firma



Diaz Vera

Mgt. Teresa de Jesús Díaz Vera
QUÍMICO COLEGIADO 245



Huella Digital

Post firma

Diaz Vera Teresa de Jesús

Apellidos y nombres

DNI, N°: 23997262

ORCID del Asesor 0000 0002 7566 2127

Se adjunta:

1. Reporte del porcentaje de coincidencias por el Sistema Anti plagio.
2. Reporte general de coincidencias por el sistema anti plagio en formato PDF

TESIS YORDANY MIJAEL DIAZ QUISPE.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

17% INDICE DE SIMILITUD	16% FUENTES DE INTERNET	5% PUBLICACIONES	7% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	--------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	www.libreria.culturaydeporte.gob.es Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	estadisticas.repositorioinstitucional.buap.mx Fuente de Internet	1%
4	ge-iic.com Fuente de Internet	1%
5	revistasacademicas.unsam.edu.ar Fuente de Internet	<1%
6	docta.ucm.es Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Politécnica de Madrid Trabajo del estudiante	<1%
8	conservarpatrimonio.pt Fuente de Internet	<1%
9	bertaruizpalenzuela.blogspot.com Fuente de Internet	<1%
10	revistas.ucm.es Fuente de Internet	<1%
11	Submitted to Escuela Nacional de Bellas Artes Trabajo del estudiante	<1%
12	www.man.es Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Universidad de La Laguna Trabajo del estudiante	<1%
14	doaj.org Fuente de Internet	<1%
15	www.coursehero.com	

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
DEDICATORIA	ix
RECONOCIMIENTOS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Formulación del problema.....	7
1.2.1. Problema general	7
1.2.2. Problemas específicos.....	7
1.3. Objetivos de la investigación.....	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos.....	7
1.4. Justificación	8
1.4.1. Justificación práctica	8
1.4.2. Justificación metodológica	9
1.4.3. Justificación social.....	9
1.4.4. Justificación teórica	9
1.5. Viabilidad	10
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes del estudio.....	11

2.1.1. Antecedentes internacionales	11
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	17
2.2.1. Digitalización y Tecnología 3D.....	19
2.2.1.2. Modelización digital e impresión 3D.....	19
2.2.1.3. Caracterización de la digitalización 3D	21
2.2.1.4. Métodos de digitalización	22
2.2.1.5. Criterios de utilización de la digitalización 3D.....	22
2.2.1.6. Aplicación en la restauración	23
2.2.1.7. Mapeado 3D.....	24
2.2.2. Escultura policromada.....	26
2.2.3. Conservación y restauración de escultura	34
2.3. Definición de términos básicos.....	39

CAPÍTULO III

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN 42

3.1. Paradigma y enfoque de la investigación.....	42
3.2. Nivel de la investigación.....	42
3.3. Tipo de investigación	42
3.4. Diseño de la investigación	43
3.5. Unidad de estudio.....	43
3.6. Categorización apriorística de la investigación.....	43
3.7. Técnicas e instrumentos de investigación	44
3.7.1. Técnicas.....	44
3.7.2. Instrumentos.....	44

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 45

4.1. Registros documentales.....	45
4.1.1. Ficha de identificación.....	45
4.1.2. Datos de localización.....	46
4.1.3. Régimen de propiedad.....	46
4.1.4. Valoración cultural.....	47
4.1.5. Antecedentes generales e historia del arte.....	47
4.2. Estudio y análisis del estado de conservación inicial.....	48
4.2.1. Examen organoléptico.....	48
4.2.1.1. Soporte estructural (posterior).....	49
4.2.1.2. Soporte estructural (anterior).....	51
4.2.1.3. Capa de preparación.....	54
4.2.1.4. Capa de policromía y decoración.....	54
4.2.1.5. Capa de protección.....	55
4.2.1.6. Materiales y estado de conservación.....	55
4.3. Registros gráficos y estudios preliminares.....	59
4.3.1. Registro fotográfico.....	59
4.3.1.1. Registro fotográfico general.....	60
4.3.1.2. Registro fotográfico especializado.....	65
4.4. Identificación de elementos sustentados.....	68
4.4.1. Análisis de soportes y estratigrafías.....	68
4.5. Intervención Conservativa – Restaurativa de la Escultura Policromada San Lucas	73
4.5.1. Actividades preliminares.....	73
4.5.1.1. Análisis preliminar para la toma de decisiones.....	73

4.6. Procedimientos de intervención.....	75
4.6.1. Conservación general	76
4.7. Restauración de la escultura.....	86
CAPÍTULO V	
DIGITALIZACIÓN, MODELACIÓN E IMPRESIÓN 3D DE LOS	
FALTANTES VOLUMÉTRICOS.....	98
5.1. Introducción.....	98
5.2. Digitalización.....	99
5.3. Reconstrucción digital de faltantes volumétricos de la escultura: Manos	104
5.4. Modelización digital de las piezas faltantes: Manos (izquierda y derecha)	104
5.6. Inserción de las manos y ajuste anatómico.....	114
5.7. Discusión de resultados.....	118
CONCLUSIONES.....	124
RECOMENDACIONES.....	126
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
APÉNDICE A	134
MATRIZ APRIORÍSTICA DE CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS.....	134
APÉNDICE B.....	136
ACTA DE ENTREGA DE LA ESCULTURA INTERVENIDA.....	136
ANEXO I.....	137
PERMISO DE INTERVENCIÓN OTORGADO POR EL DIRECTOR DEL	
MUSEO Y CATACUMBAS DE SAN FRANCISCO DE ASÍS DEL CUSCO... 	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Fases de actuación en conservación y restauración de la escultura policromada</i>	39
Figura 2 <i>Mapeo estructural (posterior)</i>	51
Figura 3 <i>Mapeo estructural (Anterior)</i>	53
Figura 4 <i>Toma de registro anterior (San Lucas)</i>	60
Figura 5 <i>Toma de registro posterior (San Lucas)</i>	61
Figura 6 <i>Toma de registro lateral izquierda (San Lucas)</i>	62
Figura 7 <i>Toma de registro lateral derecho (San Lucas)</i>	63
Figura 8 <i>Mapeo de imágenes en detalle</i>	64
Figura 9 <i>Registros con fluorescencia visible inducida por luz UV</i>	66
Figura 10 <i>Radiografía del busto de la escultura (San Lucas)</i>	68
Figura 11 <i>Corte tangencial del soporte de madera</i>	69
Figura 12 <i>Corte longitudinal del soporte de madera</i>	70
Figura 13 <i>Registro micrografía de identificación del soporte de madera lámina delgada correspondiente madera Cedro (5x)</i>	70
Figura 14 <i>Registro panorámico de la superficie de la muestra del pigmento marrón a 5X</i>	71
Figura 15 <i>Micrografía de corte estratigráfico de pigmento azul negruzco (20X)</i>	72
Figura 16 <i>Proceso de encapsulamiento de la escultura en la manga de plástico</i>	76
Figura 17 <i>Aplicación de la técnica de aspersión</i>	78
Figura 18 <i>Registro fotográfico de la prueba de solubilidad</i>	80
Figura 19 <i>Mapeo de las zonas evaluadas</i>	81
Figura 20 <i>Prueba de higroscopicidad</i>	83
Figura 21 <i>Prueba de higroscopicidad en los 'pies y botines de la escultura</i>	85
Figura 22 <i>Aplicación de la reintegración cromática en una zona de pérdida</i>	95
Figura 23 <i>Esquema de rotación de la cámara durante la fotogrametría</i>	100
Figura 24 <i>Esquema de rotación de la cámara durante la fotogrametría</i>	101
Figura 25 <i>Registro fotogramétrico de la mano izquierda</i>	107
Figura 26 <i>Modelo 3D optimizado para impresión</i>	108

Figura 27 *Registro fotográfico de la pieza faltante en forma física (mano izquierda)*

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Categorización apriorística de la investigación</i>	43
Tabla 2 <i>Ficha de identificación</i>	45
Tabla 3 <i>Ficha de información general</i>	46
Tabla 4 <i>Régimen de propiedad</i>	46
Tabla 5 <i>Valoración cultural</i>	47
Tabla 6 <i>Valoración cultural</i>	48
Tabla 7 <i>Resumen de daños y características del soporte estructural (posterior)</i>	50
Tabla 8 <i>Resumen de daños y características del soporte estructural (anterior)</i>	52
Tabla 9 <i>Resumen del estado de la capa de preparación</i>	54
Tabla 10 <i>Resumen del estado de la capa de policromía y decoración</i>	55
Tabla 11 <i>Resumen del estado de la capa de protección</i>	55
Tabla 12 <i>Estado de conservación de material escultura</i>	55
Tabla 13 <i>Estado de conservación soporte material</i>	56
Tabla 14 <i>Estado de conservación soporte material</i>	57
Tabla 15 <i>Estado de conservación capa pictórica</i>	57
Tabla 16 <i>Estado de conservación capa de protección</i>	58
Tabla 17 <i>Estado de conservación peana</i>	58
Tabla 18 <i>Diagnóstico general</i>	59
Tabla 19 <i>Propuesta de intervención</i>	73
Tabla 20 <i>Cronograma de intervención</i>	75
Tabla 21 <i>Resultados de solubilidad</i>	81
Tabla 22 <i>Resultados de la prueba de higroscopicidad</i>	84

DEDICATORIA

*A mi madre, quien ha estado conmigo en los
buenos y malos momentos, siempre
dándome ánimos para seguir adelante y
guiándome por el buen camino.*

Yordany

RECONOCIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Arte Diego Quispe Tito del Cusco, por haberme brindado la oportunidad de ampliar mis conocimientos, en una carrera que nos pone al nivel competitivo en la sociedad que demanda profesionales de calidad.

A los docentes, por haberme brindado cada día una educación de calidad y excelencia académica, con un alto espíritu de sacrificio, tolerancia y gran vocación.

A mí asesora metodológica, Teresa de Jesús Díaz Vera, una excelente profesional, quien me orientó con tanto profesionalismo y paciencia para el desarrollo de esta tesis.

A mí asesora de la especialidad, Rocío del Carmen Acurio Guevara, destacada profesional, quien orientó mis pasos en todo momento durante el desarrollo del trabajo de investigación.

A la orden franciscana de los Doce Apóstoles del Cusco que me confió la escultura de San Lucas y permitirme compartir el espacio de sus claustros en el Convento Mayor de San Francisco de Asís del Cusco, que albergó el taller donde desarrollé las actividades de intervención de la unidad de estudio.

A mí madre, por haberme dado el apoyo necesario, espiritual y moral.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue aplicar la modelización digital e impresión 3D de los faltantes volumétricos para su restitución en la escultura policromada de San Lucas. En la investigación se adoptó un enfoque cualitativo de nivel exploratorio con diseño de estudio de caso. A través de técnicas de fotogrametría, modelización digital y la posterior impresión 3D se logró capturar con precisión los detalles anatómicos y dimensionales de la obra. Los resultados demostraron que la fotogrametría, complementada con el software Blender, permitió crear réplicas precisas y fieles, mientras que con la impresión 3D con materiales reversibles se logró restituir las manos faltantes sin comprometer la integridad del soporte original. Además, se desarrollaron estrategias de conservación para garantizar la estabilidad y reversibilidad de las intervenciones. En conclusión, la modelización digital e impresión 3D resultaron ser herramientas eficaces y viables para la conservación y restauración de esculturas patrimoniales, ofreciendo soluciones innovadoras que respetan la integridad histórica de las obras.

Palabras clave: Modelización digital, Impresión 3D, Conservación, Restauración, Escultura policromada, Fotogrametría, Patrimonio cultural.

ABSTRACT

The research aimed to use digital modeling and 3D printing to replace missing parts in the polychrome sculpture of San Lucas, thus improving its conservation and restoration. The study followed an exploratory qualitative approach and used the sculpture of San Lucas as a case study. By employing photogrammetry techniques, digital modeling, and subsequent 3D printing, the research accurately captured the anatomical and dimensional details of the sculpture. The results demonstrated that photogrammetry, combined with Blender software, enabled the creation of precise replicas. Additionally, 3D printing with reversible materials restored the missing hands without compromising the original support's integrity. Furthermore, the study developed conservation strategies to ensure the stability and reversibility of the interventions. In conclusion, digital modeling and 3D printing proved to be effective and viable tools for the conservation and restoration of heritage sculptures, providing innovative solutions that respect the historical integrity of the work.

Keywords: Digital modeling, 3D printing, Conservation, Restoration, Polychrome sculpture, Photogrammetry, Cultural Heritage

INTRODUCCIÓN

La conservación y restauración de esculturas policromadas requieren la implementación de técnicas avanzadas que respeten tanto la integridad estructural como la estética de la obra de arte. Nuevas prácticas sustentadas en innovadoras tecnologías se presentan como idóneas para alcanzar el cumplimiento de los criterios que la disciplina de la conservación y restauración contemporánea demandan.

En el caso de la escultura de *San Lucas*, bien cultural que hace parte del acervo histórico – artístico del Museo y Catacumbas del Convento de San Francisco de Asís del Cusco (Perú), la pérdida de elementos volumétricos esenciales, como las manos, demanda soluciones innovadoras.

La modelización digital y la impresión 3D se presentan como alternativas no invasivas y precisas que permiten la restitución de las piezas faltantes, asegurando la total reversibilidad y conservación de la escultura. Estas tecnologías permiten no solo recrear de manera fiel los detalles anatómicos de la escultura, sino también utilizar materiales compatibles que respeten la originalidad del soporte y la capa pictórica.

El objetivo de esta investigación fue aplicar la modelización digital y posterior impresión 3D para la restitución de piezas faltantes en la escultura policromada de San Lucas, mejorando su conservación y restauración, y proponiéndose como una solución alternativa acorde a las corrientes de investigación actual.

La presente investigación se redacta siguiendo el esquema normado en el Reglamento de Grados y Títulos vigente y está estructurado de la siguiente manera.

En el Capítulo I, titulado planteamiento del problema, se describe el problema de investigación, se formulan las preguntas de investigación y coherentes con ellas se proponen los objetivos pertinentes, Seguidamente se justifica la investigación según los criterios necesarios y se da a conocer la viabilidad del proyecto para su ejecución.

En el Capítulo II, titulado marco teórico, se aborda el estado del arte de la investigación citando antecedentes internacionales y nacionales en el uso de tecnologías 3D para la restauración del patrimonio cultural con la finalidad de ilustrar el uso que se le está dando a las nuevas tecnologías digitales en el campo de la

conservación y restauración del patrimonio cultural tangible. Así mismo, para fundamentar teóricamente se consideran bases teóricas y/o científicas sobre la digitalización, impresión 3D, conservación y restauración de bienes culturales muebles enfatizando en la escultura policromada virreinal, característica temporal de la unidad de estudio.

En el Capítulo III, denominado aspectos metodológicos con los que se aborda el estudio, se describen éstos fundamentándolos con la literatura necesaria. Como características se incluyen el paradigma, enfoque, nivel, el diseño de caso y las técnicas e instrumentos utilizados para la investigación.

En el Capítulo IV se presenta el desarrollo de la investigación, desde el análisis del estado de conservación hasta los registros documentales y gráficos siguiendo los procedimientos tradicionales de intervención de modo que se dejó expedita la escultura para la ejecución de los procedimientos digitales planeados.

En el Capítulo V se describe los procedimientos de digitalización, modelización digital e impresión 3D para la restitución de piezas faltantes ejemplificadas con las manos y su adhesión con medios magnéticos.

Finalmente, se considera las conclusiones y recomendaciones. Además, se da cuenta de las referencias bibliográficas siguiendo las normas de estilo de redacción APA 7.

Se adjunta Apéndices y Anexos necesarios para ilustrar de mejor manera aspectos incorporados en el cuerpo del trabajo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

La conservación y restauración de esculturas policromadas, especialmente las de carácter religioso, son de vital importancia debido a su valor estético, histórico y devocional. Estas obras de arte no solo representan la maestría artesanal y la creatividad de su época, sino que también tienen un significado profundo en contextos de culto y tradición tan arraigados en las sociedades de credo religioso católico, como es el caso de la feligresía del Cusco (Perú).

Las esculturas policromadas religiosas coloniales forman parte del patrimonio cultural, desempeñando un papel central en rituales y festividades, como la Semana Santa, Corpus Christi, fiestas patronales, etc. y contribuyen a la identidad cultural de comunidades enteras, como se comentó en el párrafo precedente (Peña, 2022). Su deterioro afecta su apariencia física que incide en gran medida en la interpretación de sus valores, comprometiendo su valor simbólico y la experiencia devocional de los fieles.

En este contexto, la modelización digital y la impresión 3D han emergido como herramientas innovadoras en la conservación y restauración de esculturas policromadas. Estas tecnologías permiten la creación de modelos tridimensionales precisos que facilitan la restauración de elementos faltantes con una exactitud y detalle sin precedentes basados en estudios de fuentes iconográficas, documentales y aún análisis anatómicos de la figura humana representada.

La digitalización 3D facilita la creación de copias virtuales exactas de esculturas, obras tridimensionales, permitiendo su estudio y conservación sin necesidad de manipular las piezas originales. Esto es particularmente útil para esculturas religiosas policromadas, donde la intervención mínima es crucial para mantener su integridad histórica y espiritual debido al estado de conservación inicial (Arte restauración, 2022).

Lograda la digitalización, la impresión 3D ofrece la posibilidad de restaurar partes dañadas o ausentes de las esculturas sin la necesidad de intervención directa en

los originales, reduciendo así el riesgo de daño adicional (Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, 2020).

La tecnología 3D permite, además, una mejor comprensión y documentación de los objetos, lo que facilita la investigación y la preservación de detalles que podrían perderse con métodos tradicionales.

Las fuentes bibliográficas consultadas dan cuenta de la aplicación de estas tecnologías que han demostrado ser efectivas en la restauración de esculturas policromadas, permitiendo la reproducción fiel de elementos complejos y detallados.

De lo explicado antes puede concluirse que, las técnicas de modelización digital y de impresión 3D se están utilizando para crear réplicas precisas y duraderas, que no solo ayudan en la conservación física de las esculturas, sino que también contribuyen a la accesibilidad y estudio de estas obras por parte de la comunidad académica y el público en general (Díaz, 2021). La integración de estas innovaciones en las prácticas de conservación ha abierto nuevas posibilidades para la restauración eficiente y respetuosa, adaptándose a las demandas del arte contemporáneo y la complejidad tridimensional de estas esculturas.

A pesar de sus beneficios, la implementación de estas tecnologías enfrenta desafíos significativos. Aunque las tecnologías de impresión 3D se han vuelto más accesibles, su integración completa en la práctica de conservación aún está restringida por factores técnicos y económicos. La formación en estas tecnologías también enfrenta dificultades en su implementación en programas educativos (Blanch & Espinel, 2022; Cabrera, 2020) y se hace necesario capacitar a los profesionales en habilidades avanzadas de tecnología junto con métodos tradicionales de conservación que se está demostrando que son compatibles, y se muestra muy promisorio gracias a la inteligencia artificial cada vez más presente en las diferentes actividades. Sin embargo, el acceso limitado a la tecnología por sus altos costos y falta de infraestructura adecuada representa un obstáculo en muchos de los países en vías de desarrollo.

En la República del Perú, la conservación y restauración de esculturas policromadas religiosas es crucial debido a su valor estético, histórico y devocional.

Desde la llegada de los españoles en 1532, estas obras han desempeñado un papel central en la cohesión social, integrándose profundamente en la vida religiosa y cultural de las comunidades peruanas. Las esculturas policromadas no solo son valiosas por su técnica y belleza, sino también por su capacidad de conectar a los fieles con su fe y su historia, siendo elementos fundamentales en festividades y rituales religiosos (Rodríguez, 2019).

Estas obras son testimonios tangibles de la devoción y la tradición, reflejando la mezcla de la cultura incaica con la influencia española. Su deterioro, ya sea por el paso del tiempo, el clima, o la falta de conocimientos adecuados para su conservación, representa una pérdida significativa para la herencia cultural y espiritual del país. Preservar estas esculturas es fundamental no solo para mantener el legado artístico, sino también para apoyar la práctica religiosa y la continuidad de la tradición espiritual (Peña, 2022).

Cusco, la capital del Imperio Inca y centro cultural crucial durante el Virreinato del Perú, alberga un invaluable patrimonio artístico.

En esta ciudad, reconocida en la Constitución Política del Perú como la capital histórica peruana, se encuentra una extensa colección de esculturas policromadas de bulto redondo, actualmente en riesgo de deterioro. Este deterioro no se debe únicamente a la falta de conocimiento o negligencia, sino también a las inclemencias del tiempo y a su intenso uso para propósitos de catequización de la población residente en el territorio patrio.

Muchas de estas obras están al borde del colapso, y ni las autoridades ni los ciudadanos han mostrado suficiente interés en su protección, a pesar de que estas esculturas reflejan nuestra identidad y proyectan nuestro futuro, además que incorporan valores que permiten su usufructo al ser exhibidos en museos o centros de investigación sin fines de lucro.

Un ejemplo destacado de este valioso patrimonio es la escultura de *San Lucas*, que hace parte del acervo histórico – artístico del Museo y Catacumbas del Convento de San Francisco de Asís. Esta obra enfrenta serios desafíos de conservación debido al deterioro causado por las condiciones climáticas y la falta de mantenimiento

adecuado. La pérdida de detalles anatómicos y la degradación del soporte de madera subrayan la necesidad urgente de implementar métodos modernos y no invasivos para su restauración.

La restauración de esta escultura policromada presenta desafíos complejos debido a las técnicas detalladas utilizadas en su creación y a los problemas asociados al soporte de madera. Los métodos tradicionales de restauración, a menudo invasivos, carecen de la precisión necesaria para recuperar los detalles finos de esta pieza, lo que conlleva un riesgo de pérdida.

Además, la falta de información y el escaso uso de métodos actuales basados en algoritmos matemáticos los cuales describen de manera más detallada la geometría de los objetos tridimensionales han limitado las posibilidades de lograr una restauración eficaz. Estos algoritmos, combinados con técnicas de representación visual y el uso de interfaces de usuario, permiten crear y manipular modelos digitales con un nivel de precisión superior.

Un ejemplo de ello es el modelado 3D, que se basa en la representación de objetos mediante puntos, líneas, superficies y volúmenes, y que posibilita su posterior renderizado para generar imágenes realistas de los modelos tridimensionales. Esta técnica, además, permite ahorrar tiempo en los procedimientos de tratamiento del soporte de madera, como la selección, el secado, el tallado y el pulido, los cuales ponen en riesgo de pérdida los detalles anatómicos durante el proceso. Así, el modelado 3D no solo mejora la precisión del trabajo, sino que también reduce significativamente el tiempo y el esfuerzo necesarios para realizar estos procedimientos.

Por lo tanto, la modelización digital y la impresión 3D ofrecen soluciones innovadoras para superar estos desafíos. Estas tecnologías, como ya se explicó en párrafos anteriores, permitirán capturar con precisión las dimensiones y detalles de la escultura motivo de estudio. La fotogrametría y la digitalización 3D facilitarán una restauración más precisa y no invasiva, reduciendo el riesgo de daños adicionales.

Aplicando estas tecnologías a la escultura de *San Lucas*, es posible crear un modelo digital detallado que refleje fielmente la obra original. Este modelo puede

utilizarse para planificar y ejecutar la restauración de los faltantes volumétricos, garantizando que se mantengan los detalles anatómicos y la integridad estructural de la escultura.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera puede la digitalización, modelización digital e impresión 3D de faltantes volumétricos aplicarse a la conservación y restauración de la escultura policromada de San Lucas?

1.2.2. Problemas específicos

Problema específico 1

¿Cuáles son las estrategias y procedimientos técnicos tradicionales compatibles con la naturaleza material y valores para la conservación y restauración integral de la escultura policromada de San Lucas?

Problema específico 2

¿Qué técnicas y metodologías de digitalización y modelización digital son más efectivas para capturar con precisión los detalles anatómicos y las dimensiones de la escultura policromada de San Lucas?

Problema específico 3

¿Cómo puede la impresión 3D de faltantes volumétricos permitir la reintegración con precisión de los detalles anatómicos de la escultura policromada de San Lucas, respetando la técnica original y los materiales históricos de la obra?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Aplicar la modelización digital e impresión 3D de faltantes volumétricos para mejorar la conservación y restauración de la escultura policromada de San Lucas.

1.3.2. Objetivos específicos

Objetivo específico 1

Desarrollar estrategias y procedimientos técnicos tradicionales compatibles con la naturaleza material y valores para la conservación y restauración integral de la escultura policromada de San Lucas.

Objetivo específico 2

Identificar las técnicas y metodologías de digitalización y modelización digital más efectivas para capturar con precisión los detalles anatómicos y las dimensiones de la escultura policromada de San Lucas.

Objetivo específico 3

Desarrollar un método de impresión 3D para la restitución de faltantes volumétricos en la escultura policromada de San Lucas, respetando la técnica original y los materiales históricos de la obra.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación práctica

La aplicación de tecnologías de modelización digital e impresión 3D en la restauración de la escultura de *San Lucas* se justifica prácticamente por su capacidad para ofrecer soluciones eficaces y modernas a problemas tradicionales de conservación. Las esculturas policromadas como la de *San Lucas* presentan desafíos significativos debido a la complejidad de sus detalles y los problemas estructurales derivados del envejecimiento y la exposición a factores ambientales.

La impresión 3D, al generar réplicas precisas de los elementos faltantes, permite restaurar la escultura de manera no invasiva, manteniendo su integridad estética y material. Además, la integración de estas tecnologías en el proceso de restauración optimiza los recursos y el tiempo, reduciendo los costos asociados a métodos tradicionales de restauración, y ofrece una alternativa sostenible para la conservación del patrimonio artístico.

La validación de estas técnicas en un caso concreto como el de *San Lucas* también sirve como evidencia empírica de su aplicabilidad y efectividad, enriqueciendo el debate académico sobre el uso de herramientas digitales en la conservación del patrimonio cultural artístico.

1.4.2. Justificación metodológica

La elección de la modelización digital y la impresión 3D para la conservación y restauración de la escultura policromada de *San Lucas* se justifica metodológicamente por su capacidad para abordar los desafíos inherentes a la conservación y restauración de obras de arte complejas y delicadas, siguiendo una secuencia sistemática y basada en la lógica que sustenta la fenomenología y hermeneútica para la comprensión del problema que presentó la escultura unidad de estudio y la solución que demandaba.

1.4.3. Justificación social

La conservación y restauración de la escultura policromada de *San Lucas* mediante la modelización digital e impresión 3D tiene una justificación social significativa al contribuir a la preservación del patrimonio cultural y artístico de Cusco.

Los cuatro evangelistas constituyen, en la lectura religiosa, la representación de los tetramorfos, que en muchas iglesias cusqueñas se representan en lienzos en las naves centrales de los templos, como es el caso de la Catedral de la ciudad o en los nichos de la linterna de media naranja como se observa en el templo de San Pedro, ejemplares de factura muy similar a la escultura motivo de este estudio, y que induce a plantear como una hipótesis, cuya verificación se deja para futuros estudios, que esta pieza tal vez fue parte de la representación tetramórfica antes de los cambios estilísticos del templo de San Francisco siguiendo las reformas del Presbítero Maestro.

1.4.4. Justificación teórica

Teóricamente, la investigación desarrollada sobre la modelización digital e impresión 3D de faltantes volumétricos en la escultura policromada de *San Lucas* aporta al campo de la conservación y restauración del arte al explorar y validar el uso de tecnologías avanzadas para la preservación de esculturas históricas.

Esta investigación amplía el conocimiento sobre las aplicaciones de la fotogrametría, el escaneo 3D y la impresión tridimensional en la restauración de

esculturas, proporcionando un marco teórico que puede ser adaptado y aplicado a otros contextos y tipos de obras de arte y que están siendo preservadas.

Además, se establece una base para futuros estudios de discusión teórica que pueden explorar la optimización de estas tecnologías en la conservación del patrimonio cultural, contribuyendo al desarrollo de métodos más precisos, eficaces y sostenibles en la restauración de esculturas y otros artefactos históricos.

1.5. Viabilidad

La viabilidad de la investigación se sustentó en aspectos técnicos, económicos, temporales y operativos.

La viabilidad técnica de esta investigación estuvo respaldada por la disponibilidad y accesibilidad de tecnologías avanzadas de modelización digital e impresión 3D, así como por la existencia de metodologías probadas en el campo de la conservación de patrimonio cultural.

La viabilidad económica del proyecto fue respaldada por el investigador, quien aseguró la disponibilidad y adecuada gestión de los recursos financieros requeridos para la ejecución del proyecto.

La viabilidad temporal de este proyecto se basó en un cronograma detallado que aseguró la realización de cada fase dentro de los plazos estipulados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

González (2023) en su tesis titulada *Nuevas tecnologías aplicadas a la imaginería religiosa*, llevada a cabo en la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Sevilla, España, se propuso analizar las técnicas históricas utilizadas en la escultura religiosa. Para lograr este objetivo implementó una metodología mixta que incluyó el análisis documental y la realización de entrevistas.

Los resultados del estudio revelan que las nuevas tecnologías, como el modelado digital, la impresión 3D y el uso de C.N.C (tipo de fabricación sustractiva) ofrecen soluciones innovadoras que permiten abordar las complejidades inherentes a las obras de imaginería, elevando la calidad artística y complementándose eficazmente con los métodos tradicionales según las necesidades específicas del artista y de los profesionales en conservación – restauración de patrimonio cultural tangible.

Además, el autor destaca que estas tecnologías permiten reducir significativamente el tiempo necesario para las intervenciones planteadas, lo cual es particularmente ventajoso en el contexto de la imaginería religiosa, donde la puntualidad en las entregas es crucial debido a los plazos estrictos asociados con las festividades religiosas o con los cronogramas de avance de obra en proyectos institucionales como aquellos encargados por el Ministerio de Cultura y sus respectivas sedes desconcentradas o regionales como sucede en la República del Perú.

En el estudio también se subraya el potencial de estas tecnologías para la recuperación y conservación del patrimonio histórico, aunque su integración en el oficio de la imaginería contemporánea enfrenta críticas por parte de aquellos que cuestionan la autenticidad y pureza de estos métodos modernos.

El autor concluye que su investigación sugiere que la calidad de una obra de imaginería no depende únicamente de los procedimientos utilizados, sino del resultado final y argumenta que los grandes maestros del pasado probablemente habrían adoptado estas innovaciones tecnológicas si hubieran tenido acceso a ellas.

Alcantud (2018) en el artículo de su investigación realizada en la Universidad Politécnica de Valencia y titulada *Optimización y aplicación de prótesis 3D- Mediante tecnologías físico-digitales como solución para la restauración de faltantes en escultura*, se planteó como objetivo la optimización y posterior aplicación de prótesis 3D durante las actividades de restitución volumétrica en escultura y aún en ornamentos.

Pondera el creciente uso de las tecnologías digitales en distintos sectores del quehacer económico y, observa que en el “campo de la conservación y restauración de bienes culturales, se convierten en una alternativa a las técnicas convencionales con el uso de tecnología 3D durante las fases de reconstrucción de volumen” (p. 218).

Para el logro del objetivo emplea una escultura de alabastro de un santo católico que presentaba un faltante en la cabeza, procediendo a un escaneo para el respectivo registro digital, el respectivo modelado con el uso del software y la posterior impresión digital, lográndose la prótesis que fue unida al ejemplar de estudio mediante medios magnéticos.

El autor concluye que con la investigación se aporta a la comunidad interesada un nuevo método de reintegración volumétrica en escultura y sostiene que “Sin duda, las nuevas tecnologías 3D plantean nuevas posibilidades procedimentales y de exploración en el campo de la conservación y restauración del patrimonio cultural” (p. 232).

También da a conocer que el novedoso método posibilita diversificar los criterios de restitución eligiéndose el que sea más compatible con la obra, además de que el “modelado digital reduce el contacto con la obra y elimina la totalidad de los riesgos que podrían producirse durante su manipulación (desprendimientos de material original, rasguños, frotamientos, roces, entre otros)” (p. 232).

Finaliza acotando que el uso de la digitalización, modelado e impresión 3D usando las tecnologías físico-digitales emerge como una solución viable, de gran reversibilidad y muy eficaz.

Díaz (2021), en su estudio titulado *Modelado 3D de precisión en procesos de digitalización de escultura construida*, publicado en la revista AusArt, España, tuvo como objetivo explorar las técnicas de replicado mediante modelado 3D dentro de la taxonomía general de las técnicas de digitalización tridimensional. Para llevar a cabo esta investigación, empleó una metodología que consistió en crear un modelo 3D a partir de fotografías.

Con los resultados obtenidos argumenta que las técnicas de modelado de precisión requieren un mayor grado de especialización en comparación con las técnicas de captura de datos, porque demandan conocimientos en interfaces de modelado relacionadas con el diseño de productos o la ingeniería. Aunque los restauradores pueden aprender, acota, a utilizar estas herramientas, se recomienda la colaboración en equipos multidisciplinares para obtener mejores resultados.

Además, observa que los sistemas de digitalización basados en el modelado 3D son cruciales para la creación de modelos digitales de esculturas con formas complejas que no pueden ser capturadas por métodos tradicionales de recolección de datos, permitiendo así un despiece virtual de obras formadas por múltiples piezas pequeñas. Los modelos digitales que el investigador obtuvo mediante esta técnica pueden someterse a análisis de elementos finitos (CEF) utilizando software especializado, lo que le permite predecir la reacción de los objetos a diversas fuerzas y condiciones físicas sin alterar la obra original. Concluye que la técnica de modelado 3D de precisión no solo mejora la replicación y estudio de obras complejas, sino que también proporciona herramientas valiosas para la conservación preventiva y el análisis estructural en condiciones reales.

El aporte del estudio anterior es valioso, pues tradicionalmente cuando se restaura obras escultóricas no se hace un estudio del comportamiento mecánico de la estructura portante, no se tienen en cuenta las características de resistencia de los materiales envejecidos o de aquellos que se usarán para reemplazarlos si es necesario

En la práctica actual sucesivas inyecciones con consolidantes son consideradas suficientes, demostrándose a mediano plazo que esta práctica no fue suficiente o no fue la adecuada. En este punto se pueden recordar las esculturas procesionales que soportan cargas dinámicas, además de las estáticas, y que deberían ser estudiadas para asegurar la pervivencia de ejemplares tan valiosos como el Señor de Los Temblores considerada como Patrón Jurado del Cusco (Perú).

Ávila (2019) realiza la investigación doctoral por la Universidad Complutense de Madrid titulada *Aplicación de la tecnología 3D a las técnicas de documentación, conservación y restauración de bienes culturales*, Su principal objetivo consiste en explicar las tecnologías 3D que están siendo utilizadas en patrimonio cultural tangible. Describe los antecedentes y la evolución de aquéllas enfatizando en el uso de los escáneres 3D y la fotogrametría para la obtención de los datos y el modelado del bien cultural objeto de estudio. Hace una revisión de los principales softwares empleados para el posterior proceso de los modelos 3D obtenidos por diferentes técnicas, además de crear modelos de los cuales, aclara, existe escasa o nula información previa.

Realizados esos estudios descriptivos, presenta una revisión de las normas nacionales e internacionales (cartas) que pudieran justificar el uso de estas tecnologías. Seguidamente, se presenta el estudio de casos realizados por la investigadora, concluyendo que su investigación esclarece la gran utilidad que las tecnologías 3D aportan en la conservación y restauración del patrimonio cultural tangible, y estableciendo metodologías de intervención que pueden aplicarse a obras con similares problemas de conservación.

Hernández-Muñoz y Sánchez-Ortiz (2019), investigadores de la Universidad Complutense de Madrid, en su estudio titulado *Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII*, publicado en la revista *Conservador Patrimonio*, España, se propusieron analizar la utilidad de las tecnologías de digitalización e impresión 3D en la restauración de modelos anatómicos de cera que han sufrido la pérdida de elementos formales, probando diferentes métodos para establecer los más efectivos y seguros.

La metodología que emplearon consistió en crear un modelo 3D a partir de fotografías. Los resultados les revelaron que la impresión 3D en ácido poliláctico (PLA) reprodujo con precisión la volumetría de los miembros dañados del modelo anatómico, mostrando una leve trama lineal en la superficie debida a la orientación de las capas durante la impresión. La unión de las piezas impresas fue estable y las juntas poco evidentes, pudiendo ser disimuladas con plastilina antes de la creación de moldes. Las extremidades impresas encajaron fielmente con las partes originales, sin discrepancias de escala.

Los moldes de silicona creados a partir de las copias impresas se desmoldaron fácilmente y capturaron todos los detalles, incluidos los patrones lineales de impresión. El molde rígido por piezas, creado en ZBrush (software de escultura, modelado y pintura digital) y reproducido mediante impresión 3D, registró todos los detalles con precisión, mientras que los moldes elásticos de Filaflex (filamento elástico original) mostraron buena volumetría, pero con menor fidelidad debido a los hilos colgantes y la evidente trama lineal.

Los citados autores concluyen que, con las nuevas tecnologías de digitalización y modelado en impresión 3D lograron la reconstrucción de áreas dañadas minimizando la manipulación y evitando el uso de agentes químicos, reduciendo tanto el tiempo de intervención como los costos económicos, presentándose como una alternativa eficiente para el tratamiento de colecciones ceroplásticas.

Santos et al. (2018), en su estudio titulado *Aplicación de la tecnología 3D en la restauración del conjunto escultórico Los Portadores de la Antorcha, de la Ciudad Universitaria de Madrid*, publicado en la revista *Arte, Individuo y Sociedad*, se plantearon como objetivo describir la metodología empleada para la restitución de la antorcha, centrándose en la creación de un modelo 3D a partir de seis fotografías de la pieza desaparecida. Los resultados demostraron que, a partir del modelo 3D virtual, pudo realizarse el fresado en resina de poliuretano con una fresadora 3D para la llama y mediante torno para el cuerpo de la antorcha. Posteriormente, elaboraron un molde y, finalmente, se produjo un positivo en resina con la coloración final.

Los autores acotan que, con un mayor número de fotografías de alta calidad, se podría aplicar fotogrametría para lograr una reproducción más precisa en aluminio en el futuro. También demostraron que la combinación de tecnologías 3D con procedimientos tradicionales de moldeo y vaciado ofrecen resultados óptimos, es inocua para el original y es adecuada para la restauración de piezas robadas o desaparecidas. Además, consideran que la digitalización sistemática de piezas susceptibles de robo antes de que ocurran los actos vandálicos podría permitir la creación de réplicas y la conservación de los datos digitales para futuras reproducciones.

Morales (2016), en su tesis titulada *Digitalización de una imagen de la Virgen del Carmen y usos del 3D en la Conservación y Restauración*, realizada en la Universidad de La Laguna, España, se propuso mostrar los beneficios de la era digital en el campo de la conservación y restauración. La metodología consistió en crear un modelo 3D a partir de fotografías. De los resultados se puede observar que el proyecto fue sumamente gratificante, superando las expectativas iniciales y descubriendo más aplicaciones de las esperadas para las tecnologías 3D en conservación y restauración.

Aunque no se pudo completar la restitución digital de los dedos faltantes de la Virgen del Carmen debido a limitaciones de tiempo, Morales asegura que adquirió conocimiento significativo al identificar numerosos proyectos relacionados con el 3D en este campo, destacando su calidad. Sin embargo, encontró dificultades con el escáner disponible, que era de calidad media y ralentizó el proceso de escaneado, y con la fotogrametría, que presentó fallos en la textura resultante, requiriendo la repetición de las fotografías. Estos problemas se atribuyeron a las limitaciones del equipo disponible, que no era de última generación.

El autor citado concluye que, a pesar de los desafíos técnicos, la experiencia general fue positiva y se reconoció el potencial de las tecnologías 3D para mejorar significativamente los procesos de conservación y restauración en el futuro.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Lira (2020), en su tesis titulada *Reconstrucción 3D usando un enfoque basado en imágenes de piezas arqueológicas incompletas: una revisión literaria*, realizada en la Pontificia Universidad Católica del Perú, se propuso reconstruir modelos 3D de piezas arqueológicas incompletas utilizando un modelo de aprendizaje profundo. La investigación fue de carácter cuantitativo, y la metodología consistió en crear modelos 3D a partir de fotografías.

El autor destaca que la principal motivación para desarrollar técnicas de reconstrucción 3D basadas en imágenes fue la posibilidad de realizar estas reconstrucciones sin la necesidad de equipamiento especializado, lo cual le facilitó considerablemente el proceso. Aunque, añade, si bien estas técnicas no alcanzan la exactitud de métodos tradicionales como el escaneo 3D, los resultados son aceptables para diversas aplicaciones.

El interés en la digitalización del patrimonio cultural ha aumentado según comenta este autor, aunque aún se aplican principalmente técnicas de reconstrucción 3D tradicionales, y las investigaciones basadas en enfoques de imágenes siguen siendo limitadas. El investigador concluye que las técnicas de reconstrucción 3D basadas en imágenes ofrecen una alternativa práctica y eficiente para la restauración de piezas arqueológicas, aunque la adopción y desarrollo de estas técnicas en la práctica aún es incipiente en nuestro territorio.

Carranza (2020), en su tesis titulada *Reconstrucción 3D de piezas arqueológicas a partir de imágenes: una revisión de la literatura*, realizada en la Pontificia Universidad Católica del Perú, se planteó como objetivo realizar una revisión exhaustiva sobre la reconstrucción 3D de piezas arqueológicas utilizando imágenes.

La metodología utilizada consistió en la revisión sistemática y el análisis documental de 124 artículos. Los resultados le revelaron que los métodos basados en simetría permiten una reconstrucción plausible de objetos, incluso de aquellos muy dañados. Sin embargo, estos métodos son ineficaces para piezas arqueológicas asimétricas o con daños que impidan la detección de simetría. Por otro lado, acota,

que los métodos orientados a datos proporcionan mayor flexibilidad en la reconstrucción de piezas, ya que no requieren simetría específica para su funcionamiento.

Analizados estos condicionamientos en la investigación de Carranza se observa que estos métodos también tienen la ventaja de tiempos de reconstrucción más cortos en comparación con los métodos basados en simetría debido a la eficiencia de los cálculos realizados por redes neuronales profundas entrenadas y que son constantes e instantáneas.

La revisión de Carranza destaca que, aunque los métodos basados en simetría son efectivos en ciertos contextos, los métodos orientados a datos ofrecen una mayor versatilidad y rapidez, haciendo posible la reconstrucción de una amplia variedad de piezas arqueológicas, independientemente de su simetría.

2.1.3. Antecedentes regionales

Choque (2023) titula su tesis de licenciatura, por la Universidad Andina de Cusco, *Digitalización del Parque Arqueológico de Saqsayhuamán usando tecnología de Realidad Virtual, Cusco 2023*. Se planteó como objetivo digitalizar el Parque Arqueológico de Saqsayhuamán generando una foto panorámica de 360° a partir de fotografías capturadas desde diferentes puntos y el uso del programa PTGUI. El investigador da a conocer que usó la metodología de desarrollo Kanban.

En este punto es oportuno aclarar que la dicha metodología Kanban usada por el investigador se aplica a la gestión de proyectos como un procedimiento de seguimiento en forma de tablero visual en columnas que permite a los equipos observar sus flujos y cargas de trabajo,

Una vez que Choque logró la fotografía panorámica la importó al motor de juegos UNITY de realidad virtual demostrando que el uso de la digitalización del patrimonio cultural es factible y encuentra nichos de aplicación variados.

De las conclusiones a las que llegó se puede considerar la preocupación del investigador por la preservación del parque arqueológico estudiado mediante las

tecnologías digitales y que le demandó la reconstrucción virtual usando fotografías y programas de renderización para ortogonizarlas y generar los volúmenes ciclópeos de las piedras de manera virtual.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Digitalización y Tecnología 3D

La digitalización 3D ha revolucionado el campo del patrimonio cultural, como puede apreciarse de los antecedentes citados, impactando disciplinas como la arqueología, la arquitectura, la escultura y la pintura (Sánchez y otros, 2020). A la fecha se cuentan con innovaciones tecnológicas como las que se citan luego:

a) ***El desarrollo de redes de banda ancha*** que se usa en la industria de videojuegos, y las tecnologías móviles e inalámbricas que han facilitado significativas innovaciones tecnológicas en la última década. E incluyen como características:

- *Mejora de visualización y modelos digitales*: Avances en sensores de imagen, procesadores gráficos, sistemas de almacenamiento SSD, y nuevas plataformas de captación como drones.

- *Fabricación aditiva (Impresión 3D)*: Evolución de tecnologías de impresión 3D.

- *Algoritmos de cálculo y cloud computing*: Mejora en el tiempo y refinamiento del procesamiento de la información.

b) ***Plataformas virtuales y ciencias de datos***: Desarrollo de plataformas para la exhibición de contenidos y tecnologías de predicción mediante redes neuronales y aprendizaje automático (Machine Learning), (Sánchez y otros, 2020).

2.2.1.2. Modelización digital e impresión 3D

La digitalización se refiere a los procesos que utilizan tecnologías digitales para crear una réplica digital de un objeto real. Esta réplica es útil en Conservación y Restauración para la catalogación, difusión, reconstrucción y restauración o reintegraciones virtuales, así como para el análisis mediante softwares especializados.

Los sistemas 3D permiten registrar con precisión las medidas de un objeto y, simultáneamente, la información de color (RGB) de su superficie. Esto posibilita la creación de un modelo virtual que incluye acabados y policromía, alineados con su geometría (Díaz, 2021).

La modelización digital e impresión 3D se refiere a la creación y reproducción de objetos físicos mediante tecnologías digitales. Este proceso incluye dos fases principales:

1. Modelización digital: En esta fase se utiliza herramientas y softwares especializados para crear la representación tridimensional precisa del objeto real o conceptual, capturándose detalles exactos de la geometría, la textura, su color y acabados superficiales del objeto.

2. Impresión 3D: Lograda la modelización, en esta segunda fase se utiliza el modelo digital para elaborar el objeto físico mediante impresoras 3D, construyéndose de esta manera el objeto capa por capa usando para el propósito diversos materiales (v.g. plásticos, resinas, metales y otros). La impresión 3D permite reproducir formas complejas y con detalles finos que serían difíciles o casi imposibles de lograr con métodos de fabricación tradicionales (Díaz, 2021).

En el contexto de la conservación y restauración, la modelización digital e impresión 3D son herramientas valiosas para crear réplicas exactas de elementos faltantes o dañados de esculturas y otras obras de arte, permitiendo su restauración precisa y no invasiva.

Según Blanch y Espinel (2022), el modelado digital y la impresión 3D ya son parte del imaginario colectivo en relación a los modelos tridimensionales. Al hablar de modelado 3D, generalmente se piensa en figuras tridimensionales, como las usadas en animación, cine, diseño de objetos o monumentos escultóricos, aunque también puede aplicarse a esculturas en relieve.

La percepción de una imagen 3D renderizada como realista depende no solo del desarrollo correcto del modelo, sino también de la iluminación y texturas aplicadas seleccionadas de una base de datos que pueden enriquecerse con capturas de objetos reales para los propósitos deseados por sus desarrolladores. Las superficies

de los objetos no solo se caracterizan por el color, sino también por la incorporación de texturas que incluyen imperfecciones y rugosidades, otorgando una mayor riqueza y complejidad visual.

2.2.1.3. Caracterización de la digitalización 3D

La digitalización 3D implica el uso de tecnologías avanzadas para crear réplicas digitales precisas de objetos físicos. Colomo et al., (2016), sostienen que estas tecnologías poseen características claves que las hacen muy necesarias en diversos campos, especialmente en la conservación y restauración. Citan las siguientes características:

- *Precisión geométrica*: Detallada captura de dimensiones y geometría del objeto, lo que permite crear un modelo tridimensional exacto.
- *Captura de textura y color*: Registro de la textura superficial y el color (RGB) del objeto, lo que permite reproducir con fidelidad los acabados visuales y policromía originales.
- *Versatilidad de aplicaciones*: Utilidad en múltiples tareas como catalogación, difusión, reconstrucción virtual y análisis detallado de los objetos mediante softwares especializados, muchos de acceso libre reduciendo el problema de la adquisición de programas costosos.
- *Facilitación de restauración virtual*: Permite realizar reconstrucciones virtuales de elementos faltantes o dañados, ofreciendo alternativas no invasivas para la restauración de obras de arte y patrimonio cultural en general.
- *Mejora de la documentación*: Proporciona documentación exhaustiva y precisa de los bienes culturales u objetos varios, esencial para el registro y estudio de piezas históricas y artísticas.
- *Accesibilidad y difusión*: La difusión y acceso a réplicas digitales de objetos importantes llegan a un mayor número de interesados y estudiosos del tema sin exponer a riesgo los originales.

- *Análisis con software especializado*: Se logra mayor comprensión de las características de los bienes culturales muebles o inmuebles al someterse a análisis detallado por la manipulación de los modelos digitales.

2.2.1.4. Métodos de digitalización

Sánchez et al., (2020), contribuyen al conocimiento de los procesos de digitalización y que pueden ser con o sin contacto con el objeto. Dan a conocer lo siguiente:

- *Sistemas con contacto*: En estos sistemas se utilizan sensores táctiles montados en brazos de medida.
- *Sistemas sin contacto*: Con estos sistemas se captura información a distancia mediante fotogrametría automatizada (sensores pasivos) o escáneres láser y de luz estructurada (sensores activos).
- *Escáneres volumétricos*: Basados en técnicas de resonancia magnética, estos instrumentos o equipos son ideales para capturar geometría y textura.

2.2.1.5. Criterios de utilización de la digitalización 3D

A pesar de las grandes bondades de los procedimientos digitales, García y Ruiz de Arcaute (2001) advierten que en el campo de la restauración el uso de imágenes digitales podría llevar a errores significativos. A menudo, sostienen, las reconstrucciones virtuales reflejarían más las habilidades y suposiciones del interventor que el resultado de un estudio científico riguroso.

De lo dicho por estos autores, se hace esencial el investigador que usa estas tecnologías debe ser cuidadoso y meticuloso y debe ser objetivo, ya que de lo contrario se corre el riesgo de producir *efectos especiales* o *falsificaciones* en clara contradicción con uno de los más importantes de los principios, la autenticidad, que sustenta la Conservación y Restauración como disciplina científico-artística. Con esta intención, se han establecido una serie de criterios para la correcta utilización de estas técnicas en el ámbito del Patrimonio Cultural, y son las siguientes:

- *Justificación necesaria:* Toda transformación virtual debe responder a justificaciones debidamente establecidas previamente y sustentadas en análisis críticos.
- *Base científica:* Debe ser el resultado del estudio científico-técnico previo y estar basado en datos objetivos para evitar falsos históricos.
- *Identificación de hipótesis:* Las hipótesis planteadas deben estar claramente identificadas; los criterios o categorías deben de estar fehacientemente determinados.
- *Claridad histórica:* La transmisión de los datos históricos y subsecuente información debe ser clara sin inducir a confusiones o interpretaciones erróneas.
- *Comparación real-virtual:* La imagen virtual debe estar acompañada de la imagen real de referencia facilitando al espectador la diferenciación entre la realidad y la reconstrucción. En este acápite se recuerda la pionera propuesta de Camilo Boito.
- *Especialización del realizador:* La reconstrucción virtual debe ser ejecutada por un especialista que conozca las intenciones de las acciones a ejecutar y comprenda a cabalidad la información obtenida del estudio de correspondencia de policromías, texturas y conozca las características de los materiales y técnicas empleadas en la obra (García & Ruiz de Arcaute, 2001).

2.2.1.6. Aplicación en la restauración

En tiempos de la Cuarta Revolución Industrial, un fenómeno que se experimenta día a día y que provoca profundos cambios sistémicos en la sociedad, la tecnología digital ha permeado cada espacio y quehacer cotidiano, académico, científico, etc., en este contexto la digitalización 3D ofrece numerosas aplicaciones en la restauración del patrimonio cultural, incluyendo:

- *Reconstrucción tridimensional:* De artefactos o bienes culturales artísticos a partir de piezas fragmentadas.
- *Recreación de monumentos y edificios:* Recreación original y fabricación de partes reemplazables permitiendo conocer el o los estados por los que pasó el patrimonio cultural edificado.

- *Algoritmos de Machine Learning*: Utilizados para la predicción y combinación de múltiples fuentes de información para la reconstrucción 3D (Sánchez et al., 2020).

2.2.1.7. Mapeado 3D

Según Blanch y Espinel (2022), el mapeado en modelado 3D, combinado con materiales idóneos o compatibles, imita superficies reales para lograr un efecto más realista y consiste en aplicar una imagen 2D (bidimensional) a un objeto 3D (tridimensional) para darle una apariencia específica. Los autores citados consideran cinco tipos:

- *Mapeado de textura (Texture Mapping)*: Por este se transfiere la imagen de una superficie real a una forma geométrica 3D confiriendo la textura deseada.

- *Mapeado de relieve (Bump Mapping)*: Confiere rugosidad a una superficie modificando las normales utilizadas en el cálculo de iluminación y sin alterar la geometría del objeto.

- *Mapeado de desplazamiento (Displacement Mapping)*: Cambia la geometría del modelo 3D dándole volumen o rugosidad y desplazando los vértices de la forma poligonal.

- *Mapeado de normales (Normal Mapping)*: Es ampliamente usado en videojuegos para generar mapas de relieve a partir de modelos 3D densos y aplicarlos a versiones de menor resolución poligonal.

- *Mapeado vectorial de desplazamiento (Vector Displacement Mapping)*: Proporciona relieve real mediante una imagen, permitiendo que crezca en las tres dimensiones (X, Y, Z).

2.2.1.8. Fases de la modelización digital e impresión 3D

Según Niquet y Mas-Barberà (2018), el proceso de modelización digital e impresión 3D sigue varias fases:

Fase 1: Recolección de datos

- *Preparación y organización:* Comprende la planificación para la adquisición de datos mediante técnicas de registro, tales como la fotogrametría y el empleo del escáner láser.
- *Análisis de características:* Mediante la observación se considera el tamaño, estado de conservación y características superficiales de la obra, como son brillo y colores oscuros, que pueden afectar la calidad del registro. Además, se seleccionan las características del espacio circundante.

Fase 2: Tratamiento de la nube de puntos y obtención de la malla

- *Post-procesamiento de datos:* Consiste en la limpieza de la nube de puntos y la generación de la malla poligonal.
- *Ajuste de la malla:* Se corrigen los errores observados en la malla, tales como polígonos invertidos y puentes angostos y se ajustan pequeños faltantes.
- *Exportación de la malla:* La malla ajustada es exportada para su procesamiento con el software de modelado 3D seleccionado.

Fase 3: Optimización de la malla para su difusión

- *Propósito de la optimización:* En coherencia con el uso previsto se optimiza la malla para archivar, estudiar, analizar, difundir o reproducir la obra motivo de estudio.
- *Software utilizado:* Se consideran programas como Blender, Autodesk Maya, Autodesk 3D Max, Zbrush y Cinema4D y últimamente se puede incorporar la inteligencia artificial en la medida que avance su desarrollo en estas aplicaciones.
- *Proceso de impresión 3D:*
 - a) Registro del objeto mediante escáner láser 3D o fotogrametría.
 - b) Eliminación de vértices irregulares y unión del objeto en formato STL (formato de transmisión de datos estándar para la industria de creación rápida de prototipos).
 - c) Configuración de parámetros de impresión y generación del archivo para la impresora 3D.

d) Impresión del objeto, ajustando la calidad de impresión según el tiempo requerido.

2.2.2. Escultura policromada

La escultura policromada ha sido fundamental en la representación de imágenes de culto en los países de religión católica. En particular en suelo peruano notablemente influenciado por la Contrarreforma y en acato a las disposiciones tridentinas, se cuenta con un rico legado patrimonial de esculturas policromadas, conservadas en museos, recintos religiosos y aún en colecciones particulares, abarcando desde la época virreinal hasta la actualidad.

Esta forma de escultura es uno de los elementos más distintivos del barroco que más tarde sería incorporada en las sociedades virreinales del continente americano. Pachón (2018) sostiene que este fenómeno se debe a una cultura donde la imagen religiosa dominaba las artes, añade que la combinación expresiva de forma y color de estas esculturas solía plasmarse en la pintura de la época, ya como retratos de imágenes veneradas, caso típico las vírgenes retratadas en sus andas, o el famosísimo Señor de los Temblores del Cusco plasmado en lienzos, o como parte de discursos iconográficos en los que las esculturas desempeñaban un papel crucial.

Las policromías que se observan en las capas pictóricas de esculturas y pinturas de caballete cubren total o parcialmente el soporte y se presentan formadas por estratos de espesores micrométricos y comprenden el aparejo o enyesado llamado también capa de preparación, las capas pictóricas, lacas, barnices, láminas metálicas, y los tratamientos superficiales como esgrafiados, y estofados.

Respecto a su composición material puede decirse que se han usado diversos materiales tales como cola, yeso, tiza, resinas, aceites secantes, huevo, colas orgánicas, pigmentos y aún metales laminados. Las alteraciones internas estructurales, visibles o no, son una de las causas de deterioro de estas capas. Además, estos materiales interactúan con factores abióticos, como la temperatura, la humedad, el estrés mecánico y vibraciones, produciendo efectos acumulativos que, junto con el comportamiento químico propio de las pinturas, contribuyen a la degeneración, envejecimiento y fatiga de los componentes (Santos, 2015).

Los factores bióticos inciden en gran medida en la conservación de la materialidad de las obras de arte alterando no solo la estructura molecular de los componentes químicos, sino también las propiedades físicas que les son propias.

Los mecanismos de biodegradación son complejos y en la mayoría de los casos sus secuelas son irreversibles.

2.2.2.1. Factores, causas y patologías de alteración de las esculturas policromadas

Las esculturas policromadas, al igual que otros bienes patrimoniales, sufren daños con el paso del tiempo y requieren restauración para evitar la pérdida del valor cultural que poseen. En su deterioro influyen diversos factores, por lo que se hace muy necesario reconocer los componentes de estas esculturas para comprender cómo los factores destructivos, abióticos y bióticos, les afectan (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico [IAPH], 2017). Por ello se recuerda dos componentes mayores principales de la escultura en general.

- **El soporte:** Constituye la base sobre la cual el artista crea la forma, tamaño y volumen de la obra. Los materiales empleados son variados, pero el más común es la madera, aunque también se utilizan otras fibras vegetales (v.g. el tallo de la flor del maguey), piedra, metal, etc.

- **La capa pictórica:** Es el tratamiento superficial por adición, es la parte decorativa en la que el artista aplica color en la superficie del soporte preparado según los planes del creador, imitando lo más fidedignamente posible el color, textura de la piel y los tejidos o vestimenta entre otros detalles (Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico [IAPH], 2017)

Según el IAPH (2017), las principales causas de alteración de las esculturas policromadas con soporte de madera son:

- **Ambientales o abióticas:** Las fluctuaciones climáticas de los factores abióticos, temperatura, luz y humedad, provocan contracciones y dilataciones en la madera, cuya principal característica es su higroscopicidad y anisotropía, generando grietas o fendas y la consecuente pérdida de la capa pictórica superior. La contaminación ambiental, como el hollín generado por la quema de combustibles

fósiles o de las velas, y en general del material particulado, también contribuye al deterioro de barnices y pigmentos.

- **Biológicas:** La madera es vulnerable a los ataques de insectos xilófagos y hongos, siendo estos los agentes de deterioro más comunes. En general los materiales orgánicos que pudieran haberse usado son muy sensibles al ataque biológico si las condiciones abióticas lo favorecen.

- **Antrópicas:** La intervención humana es una de las principales causas de daño. Actividades como traslados, roces, golpes, actos vandálicos, repintes o restauraciones inadecuadas y aún su uso en actividades o ritos religiosos como son las procesiones.

Según el IAPH (2017), las principales patologías de las esculturas policromadas consisten en:

- **Alteración del aspecto estético:** La superficie pictórica puede estar sucia, decolorada, repintada o presentar un aspecto oscuro y amarillento debido a la oxidación de barnices y cambios cromáticos de los pigmentos.

- **Pérdida de adhesión del soporte:** Dependiendo del comportamiento anisotrópico de la madera, por ejemplo, la formación de fendas, grietas y roturas la exponen como soporte. Y en general esto suele suceder con la mayoría de los soportes empleados en escultura novohispana.

- **Pérdida de los estratos policromos:** La capa pictórica puede tornarse quebradiza descamándose, craquelada o fragmentada.

- **Evidencia de ataque de insectos y microorganismos:** El soporte orgánico de naturaleza celulósica y aún con adiciones proteicos, como adhesivos, es susceptible de ataque entomológico y microbiológico.

- **Problemas con el sistema de anclaje:** Los sistemas y materiales utilizados para anclar las diferentes partes de la talla pueden dañar tanto el soporte como la capa de policromía. Clavos de forja pueden oxidarse y pudrir la madera, la orientación de corte de las piezas influyen grandemente en estas patologías.

2.2.2.2. *Categorías decorativas y fases de decoración de las esculturas policromadas*

La realización de una sistematización para clasificar la policromía de las esculturas suele ser compleja debido a las variadas posibilidades del proceso creativo del artista, y a que las etapas de elaboración a menudo se interrelacionan al desarrollarse en paralelo o en secuencias.

Sin embargo, el uso prevalente de materiales y técnicas a lo largo de la historia del arte novohispano retablístico permite establecer diferencias en cada proceso policromo y definir clasificaciones para la descripción y estudio no solo de los retablos sino también de las esculturas policromadas (Cordero, 2015).

El autor citado propone siete grandes categorías que facilitan la comprensión de estos procesos: Aparejado; motivos en relieve desde el aparejo; metalización; técnicas de decoración sobre el metal; otras técnicas de decoración como el encarnado, además de otros efectos sobre la superficie dorada del retablo.

A. Aparejado

Calvo, (1997) define el aparejo como la “preparación para pintar, se aplica sobre todo el muro, en pintura sobre tabla y en escultura policromada. Según Palomino ‘en el dorado bruñido, aquella mano de cola, yeso y bol, que se da a la pieza que se ha de dorar’” (p. 28).

El éxito y la permanencia de la policromía ya sea en un retablo de madera o una escultura de madera, ambos con comportamientos muy parecidos, dependen del conocimiento de los materiales y su compatibilidad.

El aparejado es el procedimiento en el que se promueve que los materiales se *reconozcan* entre sí, preparando y nutriendo la madera para ser policromada y sellando sus poros para lograr su impermeabilización y la posterior nivelación de la superficie, generando así un estrato idóneo para la aplicación del dorado o de la policromía según sea el caso, asegurando su permanencia en el tiempo (Echeverría, 2003).

El aparejado consta de cuatro etapas y siguiendo a Cordero (2015) se citan a continuación:

1. *Preparación previa de la talla y encolado*: Requiere la eliminación del polvo, aserrín y nudos no deseados de la madera mediante el empleo de gubias,

acuñado de grietas con piezas de madera, como las toledanas (piezas rectangulares de madera usadas para reforzar las grietas, uniones de madera) embebidas en cola fuerte, y enlizado de juntas y separaciones con retales de lino, cáñamo o estopa empapados en cola animal. También pueden ser observados ensambles.

2. *Telas encoladas*: Aplicación de retazos de tela recubiertos con una mezcla de yeso y cola en elementos escultóricos como ropajes y túnicas para otorgarles volumen y movimiento.

3. *Enyesado*: Recubrimiento de la superficie con yeso grueso y luego yeso fino, o aún pasta de yeso con engrudo de almidón de trigo seguido de pulido de la superficie con diversas herramientas.

4. *Embolado*: Aplicación de la sustancia arcillosa denominada bol aglutinado con cola proteica usando para el procedimiento un pincel de cerdas finas.

B. Motivos en relieve desde el aparejo

Para crear motivos en relieve en la escultura policromada se utiliza la técnica conocida como *brocado*, lográndose efectos escultóricos tanto en relieve como pictóricos, recreándose los diseños de telas finas tejidas con hilos metálicos.

Estos *brocateados*, que se inician desde la base de preparación, al ser elementos añadidos que luego se recubren y policroman, pueden ser ignorados o confundidos con la propia talla.

Siempre según Cordero (2015) se diferencia tres tipos de brocado: de tres altos, aplicado y alto.

- *Brocado de tres altos*: Consiste en la imitación de textiles brocados aplicando pastillajes (planos y volumétricos por modelado) o barbotina, con un efecto de volumen desde la base de preparación. De esta manera se forman cordones, gotas de estuco o embutidos, que luego se lijan, embolan, metalizan o policroman según el efecto deseado.

- *Brocado aplicado*: Originaria de Flandes, esta técnica se usó en España desde la mitad del siglo XV hasta la mitad del siglo XVI, y consiste en embutir una masilla en una placa fina de estaño previamente grabada y para luego adherir la placa

estampada a la superficie generando patrones repetitivos en serie o aislados que se doraban al mixtión y coloreaban.

- *Brocado alto*: Tradicionalmente denominado *brocado*, se practicaba sobre la superficie ya metalizada, lográndose efectos volumétricos con la aplicación de diseños policromados a modo de relieves textiles con efectos de luces y sombras. Se argumenta que esta técnica quizás fue usada para policromar ropajes de bajo costo,

- *Picado de lustre*: Consistía en texturizar la capa de aparejo antes de metalizar la superficie. Es una variante del cincelado.

C. Metalización

El oro es el metal más recurrente en el recubrimiento de superficies y se denominaba como *oro bruñido*. En reemplazo del oro cuando era necesario se utilizaba plata, aleaciones de cobre y estaño.

El oro por sus características sui generis, protege los estratos policromados, al ser un metal químicamente inerte limita el ataque de insectos xilófagos y la proliferación de microorganismos (Cordero, 2015).

Respecto al metalizado con oro se conocen ampliamente dos técnicas.

- *Dorado al agua o dorado bruñido*: Es la técnica más común y compleja- El proceso consiste en extraer una por una las láminas del pan de oro y adherirlas a la superficie a dorar ya embolada previamente luego de ser cortadas en el pomazón.

- *Dorado a la sisa o dorado mate*: Denominado también como dorado al mordiente o al mixtión (aceite de linaza cocido con adición de algunas resinas que le confiere el carácter mordiente).

Es necesario indicar también que en cuanto a la metalización de superficies escultóricas también se usaron pan de plata, así se tiene el:

- *Plateado*: De manera semejante al pan de oro se aplicaban según lo descrito para el dorado. A diferencia del oro, la plata al haber sido beneficiada de sus minerales tiende a oxidarse generando una pátina negra de óxido de plata, por lo que es frecuente encontrarla cubierta de lacas denominadas corladuras para evitar su corrosión.

D. Técnicas de decoración sobre metal

A lo largo del desarrollo de las técnicas de decoración superficial escultórica se han desarrollado una gran variedad para colorear las superficies metalizadas. Así, el término *estofado* es el más empleado para describir cualquiera decoración sobre metal en la talla de madera dorada según lo descrito antes.

- *El estofado* comprende una serie de técnicas de policromía usadas sobre madera u otra superficie metalizada simulando estofas o telas texturadas y de moda de la época. Para esta técnica el temple de huevo con adición de pigmentos bien molidos solía ser el más recomendado y puede ejecutarse a mano alzada o con una plantilla. El estofado comprende dos tipos denominados labores hechas a punta pincel y esgrafiado.

- *Cincelado*: También llamado picado de lustre, punzonado, graneado o labor de buril. Consiste en marcar con suaves golpes de punzón el oro junto con el aparejo. Esta técnica solo aplica sobre oro bruñido y no sobre oro mate. En atención de la incisión se tiene el delineado con hendidura, repicado, graneado o cincelado (también denominado troquelado).

- *Corladuras*: Técnica que implica el barnizado con una corla consistente en la formulación de un barniz de resinas y esencias aplicado sobre una pieza plateada y bruñida para imitar oro, asemejando el brillo de gemas o con el fin de tornasolear el metal. También solía aplicarse sobre otros metales.

E. Otras técnicas de decoración

Las siguientes eran aplicadas directamente sobre el aparejo sellado con ajicola. Así, el uso de colores lisos o tonos planos servían para colorear ropaje de un único color (v.g. hábitos) y las partes reversas de las esculturas que no serían visibles.

Una segunda técnica consistía en adherir recortes de papel o cartón que una vez policromados se pegaban sobre la superficie de la escultura.

F. Encarnado

Encarnar implica policromar del color de la piel humana expuesta en las esculturas y singularidades como heridas, venas, rubor, etc. Se consideran dos variaciones:

- *Pulida*: Iniciada con una imprimación de albayalde y cola proteica sobre el enyesado para luego aplicar el color carne preparado con aglutinante óleo resinoso. En algunas secciones se usa también el término *peleteado* para asemejar el crecimiento de la barba, bigotes o aún el cabello.

En estado mordiente se pule con una vejiga húmeda para aparejar la superficie difuminando los trazos.

Cejas, labios, arrugas y ojos se pintan con un pincel fino una vez seca la superficie. El resultado es una superficie brillante de aspecto vítreo.

- *Mate*: Con esta técnica se logra el efecto natural de la piel. Previamente se eliminan las irregularidades, se aplica una capa o más de albayalde con cola. Se lija hasta tener una piel tersa.

- *Mixta*: Se secuencia con la técnica mate, de mayor resistencia, seguida de la técnica de pulimento que mantiene mejor las capas pictóricas.

G. Efectos sobre la superficie dorada

Cordero (2015) comenta sobre diversas técnicas ideadas para crear efectos especiales sobre la superficie dorada.

- *Bronceados*: Consiste en la aplicación de veladuras en tonos bronceados o rojizos sobre el oro haciéndolo parecer de oro macizo. Con estas veladuras ligeras se conseguían diferentes tonalidades al oro, dando contrastes y diversos matices. Muchas veces estas veladuras son confundidas con barnices envejecidos o suciedad y son retiradas durante la limpieza pues pueden pasar desapercibidas.

- *Decoraciones que fusionan oro brillante y oro mate*: Se alternan el dorado mate y el oro brillante sobre la superficie.

- *Jaspeados*: Simulación de piedras hechas a base de barnices óleos resinosos reproduciendo las vetas del mármol. El barniz del aglutinante formaba una película brillante evitando la oxidación de los aceites.

- *Oro agrietado con efecto marmoleado*: Consiste en el desgaste intencionado de los panes de oro, combinado con veladuras o aguadas de barniz, consiguiendo un efecto veteado que simula la piedra. Puede confundirse con deterioro por abrasión o una mala factura y ser eliminado durante la limpieza.

2.2.3. *Conservación y restauración de escultura*

La conservación tiene como fin la protección y cuidado del patrimonio cultural tangible sea mueble o inmueble.

Comprende actividades que abarcan examen, documentación, tratamiento y cuidado de colecciones.

Como disciplina técnica, requiere el apoyo de la investigación en ciencias de la conservación, que abordan materiales, diseño, técnicas, estética y el talento humano con formación especializada en técnicas de conservación y restauración (Arдохain, 2018).

Zamora, (2014) sostiene que, en este sentido, la conservación y restauración como disciplina se encarga de valorar, planificar y ejecutar medidas y acciones para estabilizar y retardar el deterioro de los bienes del patrimonio cultural

Viana, (2017) recordando a Cesare Brandi dice que con la Restauración se busca el restablecimiento de la unidad potencial de la obra de arte en lo que sea materialmente posible sin crear falsos históricos o artísticos, y reteniendo las huellas del tiempo en la obra.

2.2.3.1. *Criterios en la conservación y restauración de la escultura policromada*

Según González (1995), en la conservación-restauración de la escultura policromada se aplican tres criterios diferentes:

- *Reintegración arqueológica*: Se usa cuando el porcentaje de material original es muy bajo y no se tienen datos o información suficientes para reconstruir la imagen perdida sin recurrir a la interpretación subjetiva o invención.
- *Reintegración discernible*: Se aplica cuando el porcentaje de material original es alto y permite la reconstrucción de la obra de manera que sea apreciable por el espectador desde cierta distancia.
- *Reintegración invisible*: O reintegración mimética. Similar a la reintegración discernible en cuanto al alto porcentaje de material original, pero se realiza mimetizando con el original, de manera que es indistinguible a simple vista (González, 1995).

2.2.3.2. Fases de actuación en conservación y restauración de la escultura policromada

Según el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España (2017), las fases de actuación en conservación y restauración de la escultura policromada son las siguientes:

A. Limpieza

La limpieza de la escultura de madera, ya sea policromada o no, implica un enfoque diferente al de la pintura de caballete, debido a la tridimensionalidad y la textura específica de las esculturas.

La policromía de la escultura imita materiales como carne, telas, metales y piedra, mientras que la pintura representa la realidad mediante perspectiva en una superficie plana. Aunque se usen los mismos materiales, la forma de aplicarlos varía considerablemente, utilizando efectos mate-brillo, tipos de pincelada y decoraciones incisas o esgrafiadas, definidos por el volumen escultórico.

Históricamente, la limpieza de la escultura policromada ha seguido criterios del campo de la pintura de caballete, pero presenta problemas técnicos diferentes debido a su tecnología y tridimensionalidad.

Las pruebas de solubilidad utilizadas en la pintura de caballete a menudo resultan inútiles para la escultura, aunque los principios éticos y de procedimiento para la limpieza de superficies pictóricas son aplicables. La limpieza es un procedimiento irreversible y debe ser realizado por expertos, ya que puede restaurar o arruinar la obra según el modo en que se ejecute. La interpretación, juicio y expertise del conservador-restaurador son cruciales en este proceso.

B. Eliminación de los agentes causantes del biodeterioro

El ataque de insectos xilófagos es una de las mayores amenazas para el patrimonio de madera en museos y edificios religiosos. La protección depende del mantenimiento del edificio y su entorno. A pesar de los avances en medidas de protección, las acciones suelen ser curativas una vez que el daño ya ha ocurrido. La falta de mantenimiento puede llevar a emergencias biológicas, y tradicionalmente se han aplicado tratamientos químicos sin evaluar sus efectos en la obra, el ambiente y la

salud humana. Es esencial desarrollar herramientas de evaluación para determinar niveles tolerables de presencia y actividad de plagas, diseñando acciones que mantengan las plagas bajo control sin poner en riesgo la integridad de las obras ni la salud de las personas.

C. Desmontaje y montaje de estructuras escultóricas de madera

El desmontaje de una estructura debe estar plenamente justificado, pues requiere una inversión significativa y no está exento de riesgos de pérdida de información y aún de la integridad de la obra. Es una operación crítica durante la cual se debe garantizar la seguridad de la policromía mediante protecciones previas y el registro de todas las características técnicas relevantes para su montaje y estudio posterior, relevar huellas de fabricación, trazados y marcas históricas son datos valiosos para la escultura y para la historia del arte y de la técnica.

D. Consolidación de soporte y policromía.

La consolidación en la conservación y restauración de esculturas se refiere a los diversos procesos de estabilización física mediante la adición de productos de impregnación o adhesión (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017):

- Consolidación del soporte de madera: Se logra mediante la impregnación con resinas.
- Adhesión y refuerzos: Incluye la adhesión y unión de fragmentos, así como refuerzos mecánicos de carpintería.
- Relleno de oquedades: Implica rellenar fisuras, grietas, fendas y agujeros.
- Consolidación de capas pictóricas: Consiste en la fijación o asentado de las capas pictóricas.

E. Reintegración de volumen y cromática

La reintegración en conservación y restauración es la intervención durante la cual se añade material nuevo para restaurar la integridad del objeto. Es la parte más visible del trabajo y la más demandada, sujeta a crítica y análisis estético y filosófico (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017).

Tiene dos objetivos fundamentales:

- Mejorar la estabilidad y funcionalidad: Necesarias para la conservación y estabilidad física de la escultura o sus elementos. Este tipo de restitución generalmente no suscita dilemas éticos.

- Mejorar el aspecto o reconocimiento formal: Necesario para completar un todo al que le faltan partes, entendiendo que la obra solo está íntegra con estos elementos. La extensión de la restitución formal en escultura puede ser conflictiva, debido a diferentes interpretaciones del concepto de integridad, también suele cuestionarse este aspecto en relación al destino de uso de la escultura.

La reintegración puede buscar completar el volumen espacial o las lagunas de policromía. Es crucial documentar la localización de las zonas reintegradas, así como la metodología empleada (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017). Las decisiones de reintegración deben considerar los riesgos, como:

- Lesiones por desgaste y daños mecánicos: Pueden ocurrir en las zonas de contacto de la obra original con la parte reintegrada durante y después del proceso.
- Cambios en las propiedades del material nuevo: Incluyen encogimiento de masillas y cambio de color en reintegraciones cromáticas, presentándose, por ejemplo, lecturas metaméricas en determinadas condiciones de iluminación
- Incompatibilidad de materiales: Diferencias en movimientos entre maderas en relación a su origen botánico y direcciones de corte, o aparejos demasiado rígidos que arrancan la policromía circundante.

F. Capa de protección

Contrariamente a la creencia popular, los barnices tienen una capacidad protectora limitada sobre la superficie policromada de una escultura. No protegen de la luz ni del oxígeno, que causan la oxidación de los materiales, sino que tienen otros objetivos (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017), y tales son:

- Limitar la absorción de suciedad: Especialmente en condiciones agresivas de conservación.
- Servir de capa de aislamiento: Para futuras intervenciones de reintegración cromática.

- Potenciar las cualidades cromáticas: Mejorar tono y brillo disminuidos o modificados por el envejecimiento de los componentes de la capa pictórica, la microabrasión de la superficie o un efecto óptico tras una limpieza con disolventes.

En la escultura policromada, la saturación del color por barniz puede ir más allá de la intención original del artista, afectando la variedad de acabados de la obra. Por ello, el uso de barniz debe estar completamente justificado, aplicado sobre una superficie limpia y precedido de un estudio sobre el efecto final del barniz (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017).

Un barniz de calidad de restauración es una mezcla que contiene (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017):

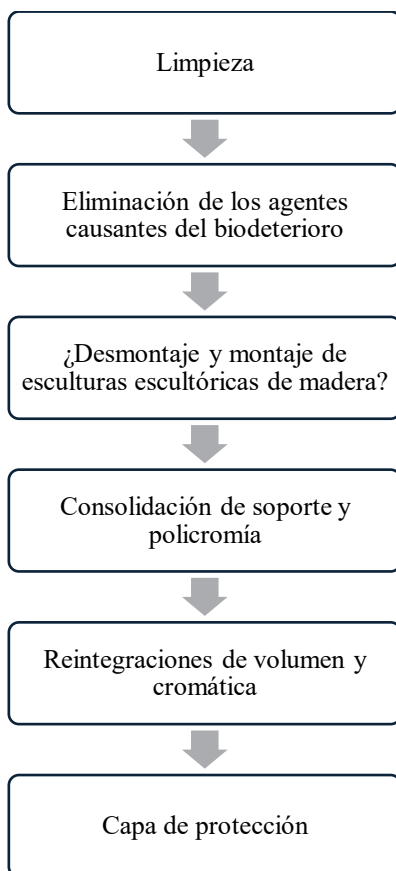
- Resinas naturales o sintéticas transparentes: Elegidas por sus propiedades ópticas, capacidad de penetración y solubilidad en el disolvente empleado.
- Disolvente: No debe hinchar, reblandecer o dañar la capa pictórica original.
- Estabilizante o antioxidante (opcional): Para limitar la acción de radicales libres en la resina, retrasando su envejecimiento (por ejemplo, Tinuvin® 292).
- Aditivos para cambiar propiedades de brillo (opcional): Como cera microcristalina.
- Aditivos plastificantes (opcional): Para modificar la rigidez y hacer más flexible la película formada (por ejemplo, polímeros tipo Kraton® G1650).

Estos elementos se combinan en la concentración adecuada para no modificar sustancialmente las propiedades de brillo y cromáticas de la superficie policromada, considerando factores como la absorción de la superficie porosa, grado de fluidez para un acabado uniforme y curado rápido para evitar la atracción de polvo.

Antes de la aplicación, la superficie debe estar seca, bien consolidada, limpia y libre de residuos de tratamientos anteriores. La aplicación se realiza en un lugar limpio y seco, en condiciones adecuadas de seguridad y salud (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017).

Figura 1

Fases de actuación en conservación y restauración de la escultura policromada.



2.3. Definición de términos básicos

Adhesión y refuerzos mecánicos: Métodos utilizados para unir fragmentos sueltos y proporcionar soporte estructural adicional a las áreas dañadas de una escultura.

Capa de protección: Aplicación de barnices o recubrimientos protectores sobre la superficie de una escultura para protegerla de factores ambientales y daños mecánicos.

Compatibilidad de materiales: Selección de materiales de restauración que sean compatibles con los originales en términos de propiedades físicas y químicas, asegurando una intervención efectiva y duradera.

Conservación preventiva: Conjunto de acciones y medidas destinadas a prevenir el deterioro y los daños en bienes culturales, asegurando su estabilidad y longevidad.

Consolidación de capas pictóricas: Técnica de fijación y estabilización de las capas de pintura de una escultura policroma, asegurando que no se desprendan ni se deterioren con el tiempo.

Digitalización 3D: Proceso de escaneo y captura de la forma y detalles de un objeto físico para crear una réplica digital precisa, utilizada en diversas aplicaciones de conservación y restauración.

Escáner 3D: Dispositivo que captura la forma y detalles superficiales de un objeto físico, creando un modelo digital tridimensional de alta precisión.

Escultura policroma: Obra escultórica que incluye varias capas de pintura y materiales para lograr un acabado detallado y colorido, característico de muchas piezas de arte religioso y cultural.

Fotogrametría: Técnica de medición y creación de modelos tridimensionales a partir de fotografías, utilizando algoritmos para interpretar las imágenes y reconstruir la geometría del objeto.

Impresión 3D: Tecnología de fabricación aditiva que crea objetos tridimensionales mediante la superposición de capas de material, basado en un modelo digital.

Modelización digital: Proceso de creación de representaciones tridimensionales de objetos físicos utilizando software especializado para capturar su geometría y detalles superficiales.

Reintegración volumétrica: Adición de material nuevo a una escultura para reconstruir partes faltantes, logrando una apariencia completa y coherente con el diseño original.

Relleno de oquedades: Proceso de llenado de grietas, fisuras y huecos en una escultura utilizando materiales compatibles que aseguren la integridad estructural y visual.

Resinas de impregnación: Materiales líquidos utilizados para fortalecer y estabilizar el soporte de una escultura degradada, penetrando en las fibras del material base.

CAPÍTULO III

ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Paradigma y enfoque de la investigación

Se recurrió al paradigma inductivo como proceso de razonamiento sustentado en la observación, descripción e interpretación o hermenéutica del fenómeno en estudio, partiendo de un hecho concreto permitiendo obtener una conclusión general al interpretarse patrones o tendencias, pudiendo incluso generarse teoría válida para casos que presenten similares características.

La investigación se abordó con el enfoque cualitativo para explorar detalladamente los faltantes volumétricos de la escultura policromada *San Lucas* y otras características que permitieran seleccionar técnicas de conservación y restauración compatibles con la obra de arte. Se empleó un enfoque cualitativo para capturar la complejidad y los detalles necesarios para la conservación y restauración precisa de la obra.

Balcázar et al (2013) sostienen que en la investigación cualitativa se emplea la observación y su propósito se enfoca en la reconstrucción de la realidad orientándose hacia el proceso y desarrollando una descripción cercana a la realidad que se investiga, por lo que permite responder a las preguntas ¿por qué? y ¿para qué?

3.2. Nivel de la investigación

Dado que se requería un conocimiento inicial de las características específicas de los faltantes volumétricos y sus posibles soluciones mediante tecnologías emergentes como la impresión 3D, esta investigación se clasificó como exploratoria. Este nivel permitió una comprensión profunda de las características técnicas y estéticas de los faltantes (Arias, 2021).

3.3. Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicado, ya que su objetivo principal era proporcionar soluciones prácticas para la conservación y restauración de la escultura mediante la aplicación de la modelización digital y la impresión 3D. Este enfoque

garantizó la aplicación directa de los resultados obtenidos en el campo de la restauración de arte (Carrasco, 2019).

3.4. Diseño de la investigación

La investigación se abordó con un diseño de estudio de caso (Romero et al, 2021).

3.5. Unidad de estudio

La unidad de estudio se seleccionó por conveniencia. Esta obra fue el foco principal de la investigación, permitiendo un análisis detallado de los faltantes volumétricos y la aplicación de las tecnologías de modelización digital e impresión 3D para su restauración.

3.6. Categorización apriorística de la investigación

Tabla 1

Categorización apriorística de la investigación.

Categoría	Dimensión	Indicador	Subindicador	Referente teórico
Modelización Digital	Toma de imágenes	Imágenes de corto alcance	Calidad de imágenes	Uso de tecnologías digitales para capturar, modelar y analizar esculturas patrimoniales (Ardohain, 2018).
	Modelización digital	Digitalización de la escultura	Resolución y precisión	
Impresión 3D	Selección de filamentos	Piezas faltantes	Exactitud del modelado	Técnica de creación de objetos tridimensionales mediante la adición de capas sucesivas de material (Didier & Mas, 2018).
	Calibración	Materiales adecuados	Compatibilidad con el original	
	Policromado	Escala real de piezas faltantes	Ajuste dimensional	
Conservación	Documentación	Piezas faltantes	Correspondencia cromática	Conjunto de técnicas y procedimientos para mantener y proteger el patrimonio cultural material
	Desinfección	Fotográfica	Registro visual	
	Limpieza	Anoxia	Eliminación de plagas	
	Muestra	Mecánica superficial	Técnica adecuada	
		Radiológica	Evaluación interna	

		Biológica	Análisis de microorganismos	(Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017).
	Protección	Barniz	Protección superficial	
	Control ambiental	Luz	Nivel de iluminación	
		Humedad	Control de humedad	
		Contaminación ambiental	Calidad del aire	
Restauración	Limpieza	Iónica con agua destilada	Técnica de aplicación	Procesos aplicados a obras de arte y patrimonio cultural para devolver su integridad y estabilidad estructural y estética (Cordero, 2015).
	Tratamiento	Soporte	Consolidación del soporte	
	Fijación y adhesión	Consolidación de la policromía	Técnica de adhesión	
	Consolidación	Zonas agrietadas	Resinas y adhesivos	
	Reintegración volumétrica	Cromática	Correspondencia de color	
	Resanes	Carbonato de calcio	Material de resane	

3.7. Técnicas e instrumentos de investigación

3.7.1. Técnicas

- Observación.
- Análisis de contenido.

3.7.2. Instrumentos

- Fichas de observación estructurada.
- Ficha de análisis documental y bitácora de trabajo.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Registros documentales

4.1.1. Ficha de identificación

Siguiendo las indicaciones del Comité Internacional para la Documentación del Consejo Internacional de Museos (ICOM, s.f.) (Comité Internacional para la Documentación del Consejo Internacional de Museos, s.f) dadas en el manual *International Guidelines for Museum Object Information: The CIDOC Information Categories*, se elaboró la siguiente ficha.

Tabla 2

Ficha de identificación.

Ficha Técnica	
Título	: San Lucas
Tema	: Religioso
Autor	: No identificado
Época	: Siglo XVII – XVIII (circa)
Estilo	: Barroco
Inventario	: Nro.13
Tipología	: Escultura policromada
Soporte	: Madera
Técnica	: Talla en madera (embón)
Escuela artística	: Escuela granadina
Formato	: Vertical
Dimensiones	: Alto: 128 cm. Ancho: 50.8 cm. Profundidad: 40.5 cm.
Materiales	: Madera, cola animal, sulfato o carbonato de calcio, pigmentos, pan de oro, bol de armenia y barnices.
Técnica de elaboración	: Consta de tres piezas de madera unidas por empalmes, policromada, tallada y ahuecada por el reverso en forma elipsoidal.
Propiedad	: Museo y catacumbas del Convento de San Francisco de Asís
Dirección	: Plaza San Francisco S/N, Cusco 08002
Examen realizado por:	: Bach. CROA Yordany Mijael Diaz Quispe.
	Fecha de examen: 20/11/2023



En la tabla 2 se proporciona una descripción técnica de los detalles generales de la escultura policromada denominada *San Lucas*, incluyendo información sobre su título, tema, autor, época, estilo, número de inventario, tipología, soporte, técnica, escuela artística, formato, dimensiones, materiales, técnica de elaboración, propiedad, ubicación, y la fecha del examen realizado.

4.1.2. Datos de localización

En esta sección se detalla la ubicación geográfica y administrativa de la escultura, especificando la provincia, distrito, ciudad, y la institución que la alberga.

Tabla 3

Ficha de información general.

Datos de localización			
Provincia	Cusco	Distrito	Cusco
Ciudad	Cusco	Templo	San Francisco de Asís
Dirección	Plaza de San Francisco S/N, Cusco (República del Perú)		
Propietario	Museo y Catacumbas del Convento de San Francisco de Asís - Cusco		

La escultura se encuentra ubicada en la provincia y distrito de Cusco, específicamente en la ciudad de Cusco. Es albergada en el templo San Francisco de Asís, situado en la Plaza de San Francisco s/n. La escultura forma parte del Museo y Catacumbas del Convento de San Francisco de Asís - Cusco, que se encarga de su conservación y exhibición al público entre otros usos eventuales como el devocional.

4.1.3. Régimen de propiedad

En esta sección se especifica el régimen de propiedad de la escultura, indicando si pertenece a una entidad pública o privada.

Tabla 4

Régimen de propiedad.

Régimen de propiedad			
Público:	No	Privado	Si

La escultura no pertenece al sector público, sino que es propiedad de una entidad privada, específicamente el Museo y Catacumbas del Convento de San

Francisco de Asís en Cusco y está amparada por la Ley General de Protección de Patrimonio Cultural de la Nación.

4.1.4. Valoración cultural

En esta sección se identifica el objeto y proporciona una valoración cultural, destacando la importancia de la escultura para la comunidad y su valor histórico y artístico.

Tabla 5

Valoración cultural.

Identificación del objeto			
Título	San Lucas	Autor	Sin identificar
Tipo de objeto	Escultura	Material	Madera
Técnica	Talla en madera	Tema	<i>San Lucas</i>
Valoración cultural			
Es importante recuperar el valor histórico artístico de la escultura policromada <i>San Lucas</i> . Reforzando el vínculo de la comunidad cusqueña, se garantiza su puesta en valor y la transmisión a las generaciones venideras.			
Formato	Vertical		
Dimensiones (cm)	Alto 128	Ancho 58	Profundidad 45

La escultura titulada *San Lucas* es una obra de autor desconocido, realizada en madera mediante la técnica de talla de embón. Esta escultura policromada, que representa a *San Lucas*, tiene un formato vertical y dimensiones de 128 cm de alto, 58 cm de ancho y 45 cm de profundidad. Su valoración cultural es significativa, ya que recuperar y preservar el valor histórico y artístico de esta pieza es crucial. Esto no solo refuerza el vínculo de la comunidad cusqueña con su patrimonio cultural, sino que también asegura la transmisión de este legado a las generaciones futuras.

4.1.5. Antecedentes generales e historia del arte

En esta sección se proporciona antecedentes históricos y contextuales sobre la obra y su autoría, así como su relevancia en la historia del arte.

Tabla 6*Valoración cultural.*

Antecedentes generales e historia del arte			
Datos importantes de autoría/obra			
<p><i>San Lucas</i> no era judío sino gentil por eso su Evangelio (que se cree redactado entre 61 y 63 d. C.) está destinado a los no judíos. Fue compañero de San Pablo en sus predicaciones y se cree que llegó a ser su médico personal que era el oficio de Lucas. Murió en el sur de Asia Menor predicando el Evangelio a pueblos esteparios indoarios. Lucas tampoco fue apóstol de Cristo, pero si se cree que fue un discípulo de los primeros tiempos. También se cree que fue el autor de los Hechos de los Apóstoles. (Pajarón, 2008, págs. 5-6)</p>			
Tipo de título asignado por el autor		Descriptivo	
Fecha	1561 - 1571	Periodo o estilo	Barroco

La escultura de San Lucas, posiblemente fue creada entre 1561 y 1571, pertenece al estilo barroco y tiene por título descriptivo asignado por el autor: *San Lucas*.

Por las características técnicas y conociendo la importancia que la iglesia católica le da a los evangelios canónicos y sus autores y considerando la práctica artística de la ejecución de los cuatro evangelistas como columna de la fe católica, se hipotetiza que habría sido parte del conjunto escultórico de los tetramorfos de la antigua exornación del templo de San Francisco de Asís o de alguna de sus capillas.

4.2. Estudio y análisis del estado de conservación inicial

4.2.1. Examen organoléptico

Se planteó como objetivo obtener información tanto de los materiales como la manufactura, condición y estado de conservación inicial de la escultura policromada *San Lucas*.

Se realizó un examen organoléptico para comprobar el estado de conservación, alteraciones y daños de la escultura policromada en estudio.

4.2.1.1. Soporte estructural (posterior)

La escultura tallada en madera, aparentemente de cedro, comprende tres ensambles a junta viva visibles por la parte posterior. Presenta una grieta estructural de 40 cm con una abertura de un cm que parte del hombro izquierdo de manera longitudinal. Otra grieta de 60 cm, ubicada a 30 cm de la primera, parece estable y sin separación. En el borde izquierdo posterior, hay un rebaje en ángulo de 45° de 48 cm x 4 cm, posiblemente para encajar una tapa que se encuentra extraviada. El borde posterior derecho muestra evidencias de un ensamble de madera policromada, con una pérdida de unos 27 cm en forma de astilla. También presenta perforaciones en la parte superior de la espalda debido a clavos aparentemente de refuerzo y una perforación de 4 cm evidencia un clavo doblado incrustado en la madera. Toda la parte posterior tiene un desbaste de madera con azuela de 23 cm x 41 cm, mostrando múltiples huellas de la herramienta utilizada.

- **Intervenciones posteriores:**

En la parte media posterior izquierda, hay una estopa o enlizado de 19 cm x 15 cm de tela blanquecina, aparentemente de tocuyo, sugiriendo una intervención posterior. Se considera probable que esta estopa sea parte del sistema de sujeción de la tapa.

La pierna derecha muestra un injerto de madera, con un corte simétrico de máquina y el resto rebajado manualmente, sujetado con dos clavos de cabeza grande. El pie izquierdo presenta una unión de acabado burdo y ambos pies tienen un acabado en forma de botín.

La peana no es original y probablemente pertenece al tiempo de la intervención en la pierna derecha y pie izquierdo. Es hexagonal y tiene engastes en la parte anterior, presentando cierto movimiento en los ensambles de los pies, lo que genera cierta inestabilidad en la escultura.

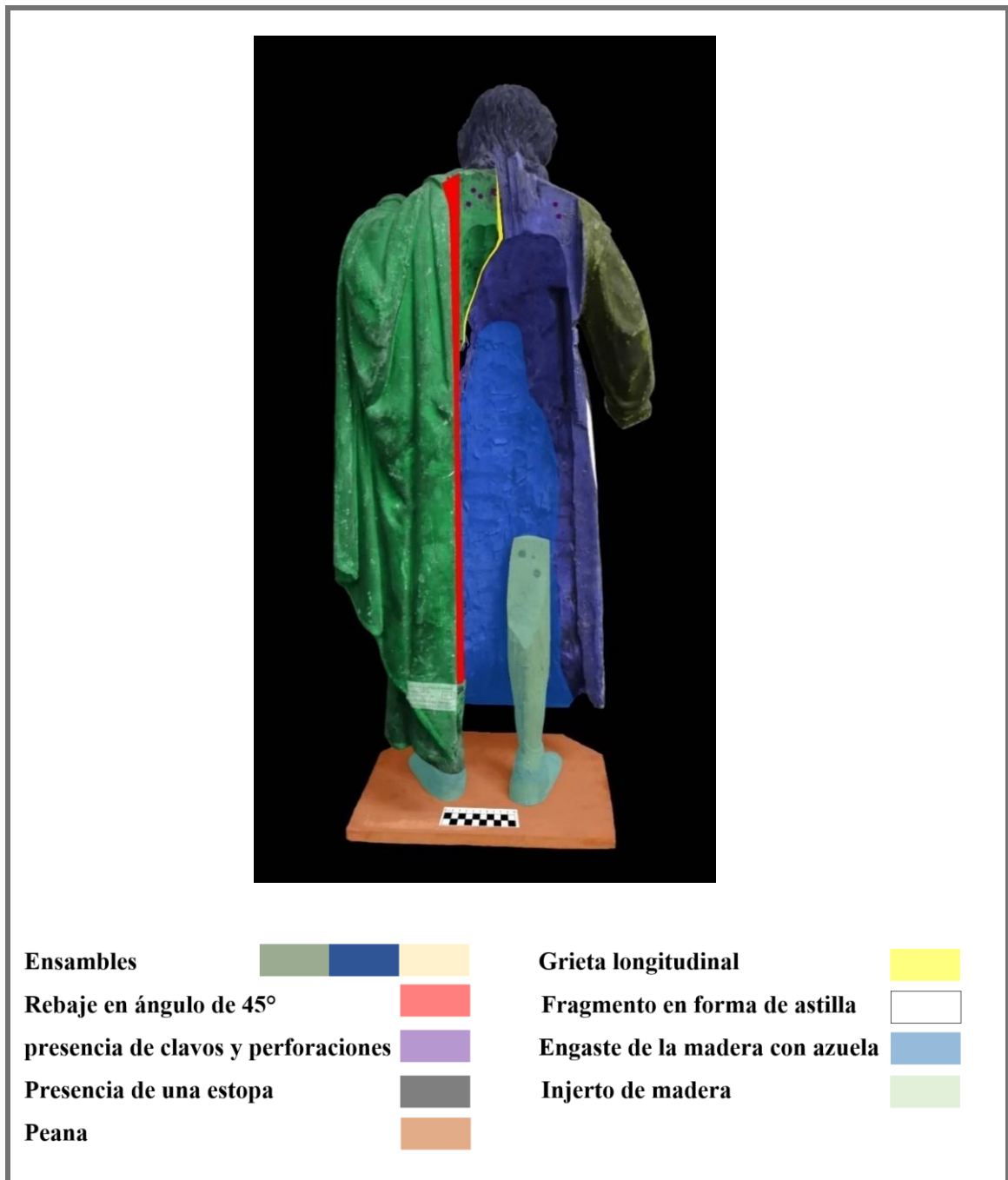
Tabla 7

Resumen de daños y características del soporte estructural (posterior).

Características	Ubicación	Dimensiones	Observaciones
Grieta 1	Hombro izquierdo	40 cm longitud, 1 cm abertura	Estable
Grieta 2	Posterior	60 cm longitud	Sin separación
Rebaje	Ángulo 45°	48 cm x 4 cm	Para encajar tapa
Ensamble	Posterior derecho	Pérdida de 27 cm	Fragmento astillado
Perforaciones	Espalda superior	4 cm	Clavos de refuerzo
Intervenciones	Estopa (posterior izquierda)	19 cm x 15 cm	Tela tocuyo

En las siguientes figuras se muestra un mapeo estructural (posterior) de la escultura *San Lucas*, destacando diversas características y elementos. Cada elemento está codificado por colores para facilitar su identificación y descripción.

A continuación, se detalla el significado de cada color según la leyenda incluida en la imagen:

Figura 2*Mapeo estructural (posterior).***4.2.1.2. Soporte estructural (anterior)**

La imagen carece de ambas manos y presenta una falta de policromía debido a los clavos de sujeción de la pierna derecha, que han logrado traspasar hasta la parte

anterior de la escultura. Esto ha ocasionado perforaciones con pérdida de madera y de los diferentes estratos pictóricos decorativos.

Tabla 8

Resumen de daños y características del soporte estructural (anterior).

Características	Descripción	Dimensiones	Observaciones
Falta de manos	Ambas	N/A	-
Perforaciones	Pierna derecha	-	Causadas por clavos
Pérdida de policromía	Varias áreas	-	Estratos decorativos dañados

Figura 3

Mapeo estructural (Anterior).



Carece de ambas manos



Peana con bordes rojos



Perdida de madera y policromía



Capa blanquecina de estratos



Falta de adhesión entre estratos



Color débil a base de ocre



4.2.1.3. *Capa de preparación*

La capa de preparación de la escultura se caracteriza por ser blanquecina debido a la presencia de faltantes en la policromía. Se observa falta de adhesión y consistencia entre algunos estratos en la parte del borde derecho, donde aparentemente hay faltantes tanto estructurales como de policromía. El injerto de la pierna derecha no presenta base de preparación, al igual que la peana, que también carece de esta capa fundamental para la correcta adherencia de los estratos pictóricos decorativos.

Tabla 9

Resumen del estado de la capa de preparación

Característica	Descripción	Observaciones
Capa blanquecina	Presencia de faltantes en la policromía	Falta de adhesión
Injerto pierna derecha	Sin base de preparación	-
Peana	Sin base de preparación	-

4.2.1.4. *Capa de policromía y decoración*

La capa de policromía y decoración de la escultura presenta la técnica del esgrafiado. Los pigmentos y aglutinantes han reaccionado alterándose las características cromáticas de la capa pictórica, que se encuentra algo oscurecida y con apreciable acumulación de suciedad, polvo y manchas en toda la imagen. Se observa pérdidas puntuales de policromía, dejando ver el dorado subyacente y, en algunas zonas la base de preparación.

Se identifican repintes en la carnación del rostro en un 17% aproximadamente, aunque estos repintes no son perceptibles a simple vista, permitiendo una lectura uniforme y estable de la imagen con buen acabado.

La policromía de los pies no presenta base de preparación y tiene una coloración sutil a base de ocre, dejando ver la madera. La peana no presenta policromía, aparentemente es una madera reutilizada con bordes rojos.

Tabla 10

Resumen del estado de la capa de policromía y decoración.

Característica	Descripción	Observaciones
Técnica	Esgrafiado	Pigmentos alterados
Pérdidas de policromía	Varias áreas	Dorado visible
Repintes	Carnación del rostro (17%)	Uniforme, buen acabado

4.2.1.5. Capa de protección

La capa de protección de la escultura no se puede señalar con precisión; sin embargo, la superficie de la parte policromada presenta un acabado mate con dispersión uniforme. Además, se observa acumulación y sedimentación de polvo en toda la escultura, lo que afecta su apariencia y posiblemente su integridad a largo plazo.

Tabla 11

Resumen del estado de la capa de protección.

Característica	Descripción	Observaciones
Acabado mate	Dispersión uniforme	-
Sedimentación	Polvo en toda la escultura	-

4.2.1.6. Materiales y estado de conservación

Tabla 12

Estado de conservación de material escultura.

Materiales				
Material	Madera	Forma	Antropomorfa	
Tipo de amarre	Fijo	Encolado	Gruesa	
Estado de conservación	Bueno <input type="checkbox"/>	Regular <input type="checkbox"/>	Malo <input checked="" type="checkbox"/>	Muy malo <input type="checkbox"/>
Intervenciones anteriores				
La escultura policromada presenta intervención de restauración anterior a la que corresponde parte de la carnación del rostro, reconstrucción volumétrica de los pies,				

inserción de una pierna nueva y refuerzos con tornillos de hierro con cabeza en los ensamblajes y empalmes.

La escultura, hecha de madera y con forma antropomorfa, tiene un tipo de amarre fijo y encolado grueso. Su estado de conservación se califica como regular. Se ha identificado una intervención anterior en la que se restauró parte de la carnación del rostro, se realizó una reconstrucción volumétrica de los pies, creación una pierna fijada con tornillos y se añadieron refuerzos con clavos en los ensamblajes y empalmes.

Tabla 13

Estado de conservación soporte material.

Soporte material				
Material	Madera	Tipo de estructura	Ensamble	
Estructura de la peana o plinto		Madera		
Uniones	Ensamblajes	Fijación a la peana	Clavos(industriales)	
Encolado	Cola animal	Suciedad superficial	Generalizada	
Perforaciones	Presenta una perforación de consideración, por clavos que sujetan la pierna izquierda a la imagen.			
Intervenciones anteriores	Sí			
Observaciones				
De una intervención anterior presenta clavos en los ensamblajes a modo de refuerzo como en la peana y en la propia escultura.				
Estado de conservación	Bueno <input type="checkbox"/>	Regular <input checked="" type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>	Muy malo <input type="checkbox"/>

La escultura tiene un soporte material de madera con una estructura de ensamblaje. La peana o plinto también es de madera y las uniones se realizaron mediante ensamblajes fijados con clavos industriales.

El encolado se ha hecho con cola fuerte de origen animal. La superficie presenta suciedad generalizada y una perforación considerable debido a los clavos que sujetan la pierna izquierda a la imagen. Se han identificado intervenciones anteriores, las cuales incluyen la adición de clavos en los ensamblajes como refuerzo, tanto en la peana como en la propia escultura. El estado de conservación del soporte material se califica como regular.

Tabla 14*Estado de conservación soporte material.*

Base de preparación				
Grosor	Mediano	Color	Blanco	
Composición	A base de sulfato de calcio y cola animal			
Estado de conservación	Bueno <input checked="" type="checkbox"/>	Regular <input type="checkbox"/>	Malo <input type="checkbox"/>	Muy malo <input type="checkbox"/>

La base de preparación de la escultura tiene un grosor mediano y es de color blanco. Está compuesta a base de sulfato de calcio y cola animal. Su estado de conservación se califica como bueno.

Tabla 15*Estado de conservación capa pictórica.*

Capa pictórica			
Técnica utilizada	Estofado (Túnica y parte de los pies)	Grosor	Delgado
Aplicación	Pincel	Veladuras al óleo	Rostro(carnación)
Repintes	Sí	Gama cromática	Ocre, ocre oscuro, rojo
Deterioros	Sí	Suciedad superficial	Generalizada (mínima)
Repintes anteriores:			Si
Estado de conservación:		Bueno <input type="checkbox"/>	Regular <input checked="" type="checkbox"/>
		Malo <input type="checkbox"/>	Muy malo <input type="checkbox"/>

Observaciones

La capa pictórica está compuesta por una paleta limitada en ocres y colores oscuros propio de la técnica del estofado, también presenta repinte en la carnación, parte del cuello y rostro.

La capa pictórica de la escultura fue decorada con la técnica del estofado en la túnica y parte de los pies, con un grosor delgado aplicado con pincel. Las veladuras al óleo se encuentran en el rostro (carnación). La gama cromática incluye ocres claro, oscuro y rojo.

Se han identificado repintes anteriores y la capa pictórica presenta deterioros y suciedad superficial generalizada, aunque mínima. La capa pictórica se encuentra en un estado de conservación regular.

Tabla 16*Estado de conservación capa de protección.*

Capa de protección			
Color	Transparente	Grosor	Delgado
Aplicación	Uniforme	Brillo	Satinado
Suciedad	Generalizada (polvo)		
Estado de conservación	Bueno <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Malo <input checked="" type="checkbox"/> Muy malo <input checked="" type="checkbox"/>		
Observaciones			
La peana no cuenta con capa de protección.			

La capa de protección de la escultura es transparente y de grosor delgado, aplicada de manera uniforme con un brillo satinado. Sin embargo, presenta suciedad generalizada, principalmente polvo. El estado de conservación de esta capa varía, siendo evaluado como bueno, regular, y muy malo en diferentes partes.

Tabla 17*Estado de conservación peana.*

Peana			
Material	Madera	Manufactura	Industrial
Suciedad superficial	Generalizada	Sujeción a la obra	Clavos(industriales)
Estado de conservación	Bueno <input type="checkbox"/> Regular <input checked="" type="checkbox"/> Malo <input type="checkbox"/> Muy malo <input type="checkbox"/>		
Observaciones			
La peana no es original a la escultura, es una intervención posterior al original.			

La peana de la escultura está hecha de madera y fue manufacturada de forma industrial. Presenta suciedad superficial generalizada y está sujeta a la obra mediante clavos industriales. Su estado de conservación se califica como regular.

Tabla 18*Diagnóstico general.*

Bueno Regular Malo Muy malo

La escultura policromada a nivel estructural se encuentra estable, en cuanto a la policromía cuenta con pérdidas puntuales las cuales serán intervenidas previos estudios.

La escultura policromada se encuentra estructuralmente estable. Sin embargo, presenta pérdidas puntuales en la policromía que requerirán intervenciones después de realizar estudios previos adecuados.

4.3. Registros gráficos y estudios preliminares

4.3.1. Registro fotográfico

Los registros se efectuaron desde el inicio para documentar los deterioros; también durante todo el proceso para registrar los tratamientos realizados y al final

para mostrar el resultado de las intervenciones. Las fotografías iniciales y durante los procesos se realizaron con una cámara digital marca Nikon D5300.de 70-300 mm

El objetivo de esta actividad preliminar fue documentar de manera detallada y sistemática el estado de conservación inicial de la escultura, los tratamientos aplicados durante la restauración y el resultado final de las intervenciones. Este registro fotográfico es esencial para asegurar una documentación visual completa y precisa, que servirá como referencia para futuras intervenciones y estudios.

4.3.1.1. Registro fotográfico general

Figura 4

Toma de registro anterior (San Lucas).



En la figura 4 se muestra la escultura de San Lucas en su estado previo a la intervención. Se observa la falta de ambas manos y un desgaste significativo en la capa de policromía, especialmente en la túnica y los pies. La suciedad acumulada y las pérdidas de material son evidentes, subrayando la necesidad de una restauración cuidadosa. La base, que no es original, también presenta desgaste y acumulación de suciedad.

Figura 5

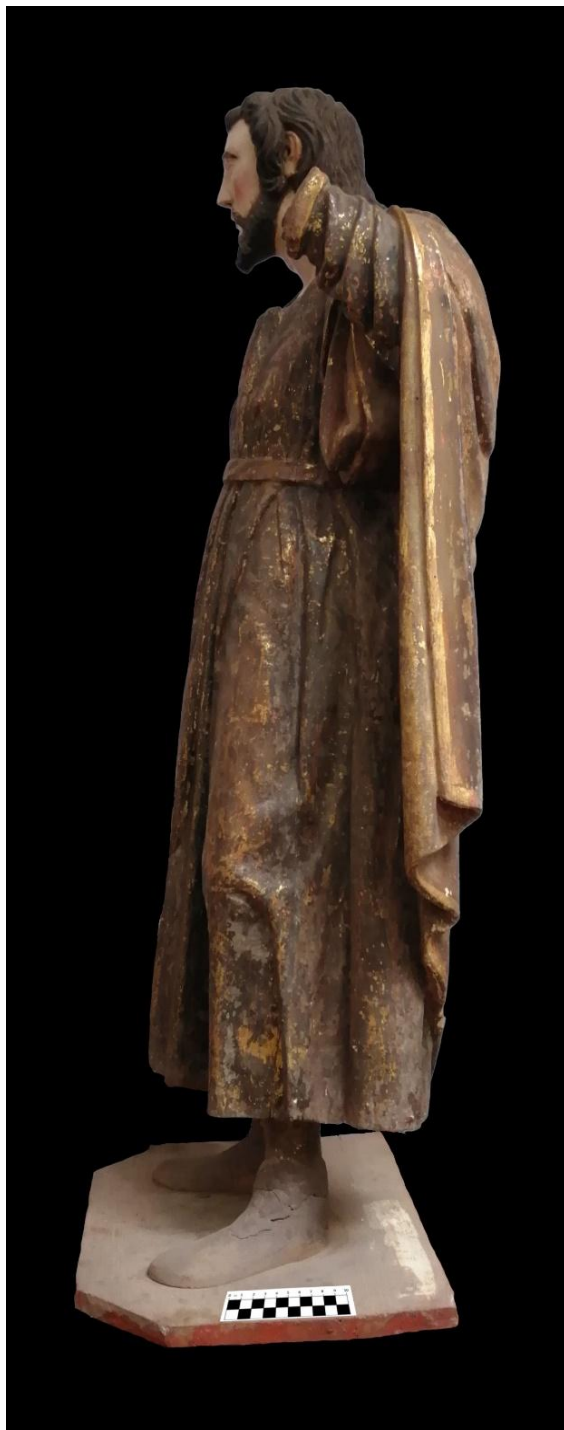
Toma de registro posterior (San Lucas).



En la figura 5 se muestra la escultura de San Lucas desde una vista posterior, destacando el estado interno y estructural de la pieza. Se observan claramente los daños y pérdidas de material en la parte trasera, incluyendo una cavidad significativa que revela la estructura interna de la escultura. También se aprecia la adición de la pierna derecha, evidenciado por la diferencia de color y textura en la madera. Además, se observa la falta de policromía y la acumulación de suciedad, así como la presencia de clavos de refuerzo en la peana y otros puntos de la escultura.

Figura 6

Toma de registro lateral izquierda (San Lucas).



En la figura 6 se muestra la escultura de San Lucas desde una vista lateral izquierda, proporcionando una perspectiva detallada de los deterioros y pérdidas en esta área. Se observa la ausencia de la mano izquierda y la falta de policromía en varias secciones de la túnica. La superficie muestra acumulación de suciedad y deterioro generalizado, especialmente en las áreas expuestas a mayor desgaste. La base, que no es original de la escultura, también es visible, presentando signos de desgaste y suciedad.

Figura 7

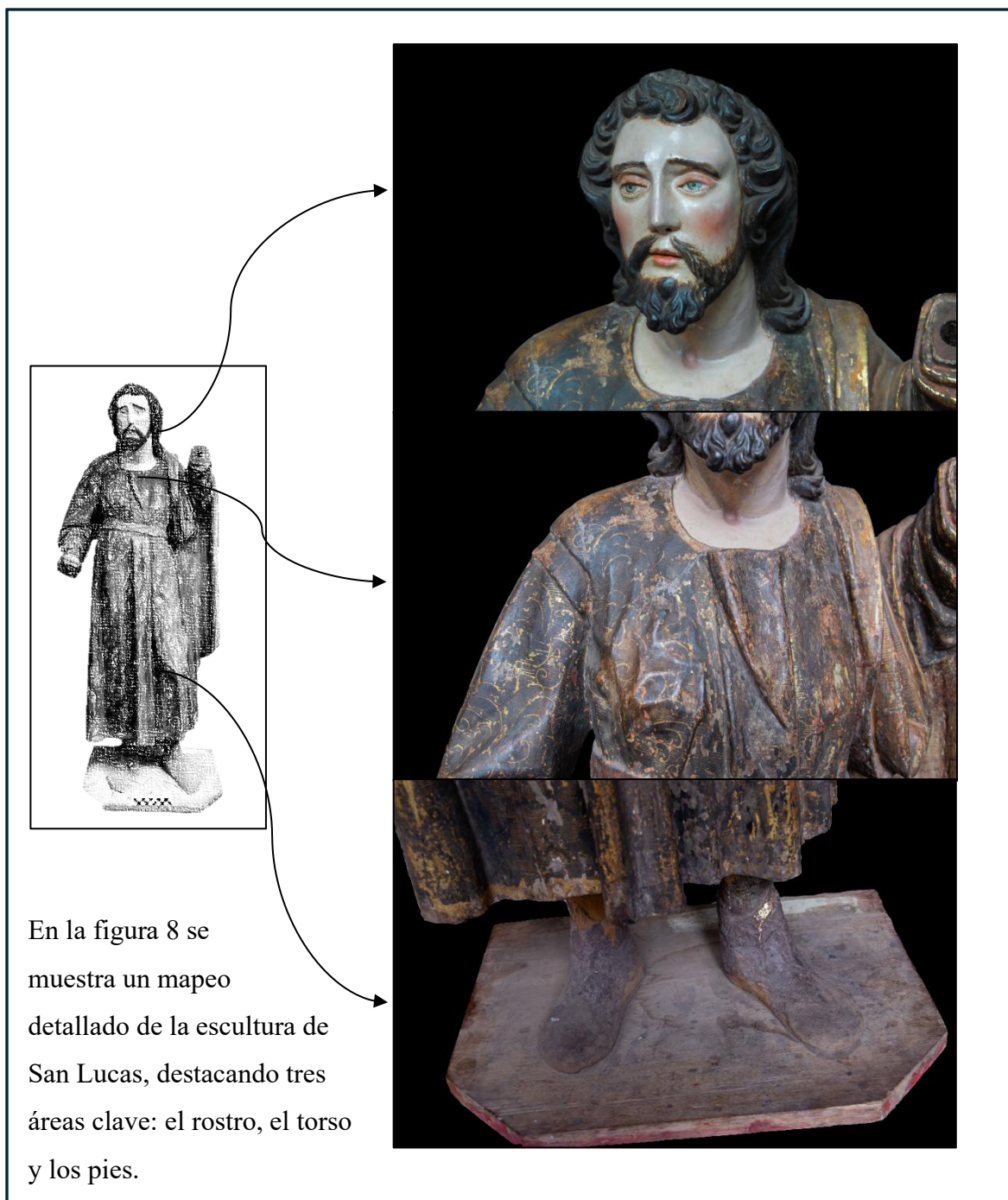
Toma de registro lateral derecho (San Lucas).



La figura 7 muestra la escultura de San Lucas desde una vista lateral derecha, ofreciendo una visión clara de los daños y el estado de conservación en este lado. Se puede observar la falta de la mano derecha y deterioros en la capa de policromía, con pérdidas significativas de color y acumulación de suciedad. La reposición de la pierna derecha es visible, indicando una intervención previa. La base, que no es original, también se aprecia con signos de desgaste y suciedad.

Figura 8

Mapeo de imágenes en detalle.



Rostró: Se observa el estado de la policromía en la cara, con detalles visibles de desgaste y acumulación de suciedad. La expresión facial y los detalles finos se mantienen, aunque con signos evidentes de deterioro y repintes en la carnación.

Torso: La imagen del torso muestra la pérdida de policromía y desgaste en la túnica, así como la ausencia de la mano derecha. La técnica del esgrafiado en la vestimenta está notablemente deteriorada.

Pies: La base de la escultura y los pies presentan una notable pérdida de color y suciedad acumulada. La falta de una base de preparación en la policromía de los pies es evidente, y la peana muestra signos de desgaste y posiblemente una intervención previa.

4.3.1.2. Registro fotográfico especializado

La intención de esta actividad fue documentar y analizar detalladamente el estado de conservación de la escultura, identificando áreas de intervención anterior, y planificar adecuadamente los tratamientos de restauración mediante técnicas fotográficas avanzadas.

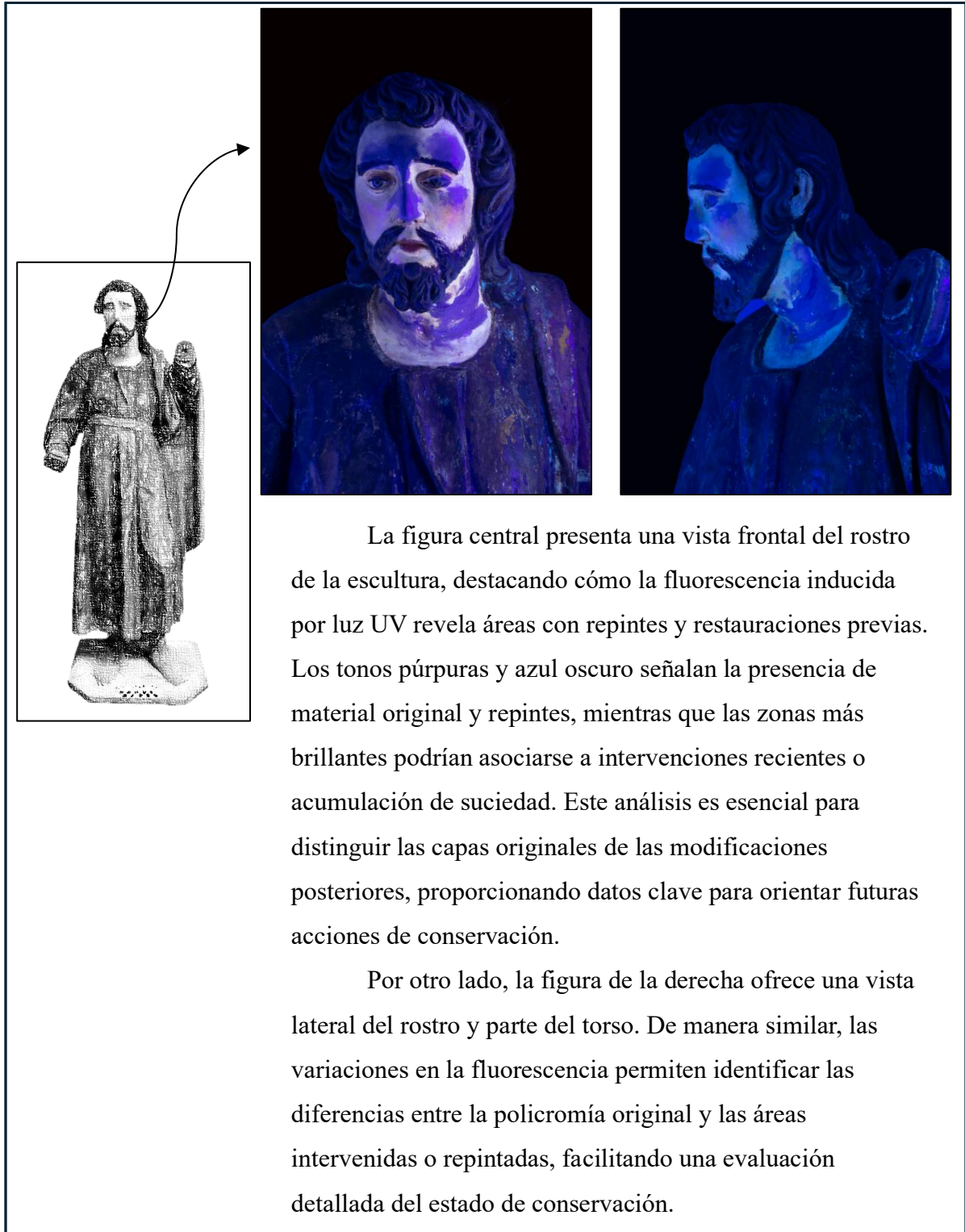
4.3.1.2.1. Toma de imágenes con fluorescencia visible inducida por luz UV

La fluorescencia visible inducida por luz UV se usó para el diagnóstico de la escultura y como una herramienta para su estudio analítico no destructivo para identificar y documentar la presencia de repintes visualmente detectadas, restauraciones anteriores, y áreas con acumulación de suciedad o sustancias extrañas no visibles a simple vista.

Esta técnica ayudó a revelar detalles ocultos y proporcionó información crucial para una restauración precisa y efectiva.

Figura 9

Registros con fluorescencia visible inducida por luz UV.



La figura central presenta una vista frontal del rostro de la escultura, destacando cómo la fluorescencia inducida por luz UV revela áreas con repintes y restauraciones previas. Los tonos púrpuras y azul oscuro señalan la presencia de material original y repintes, mientras que las zonas más brillantes podrían asociarse a intervenciones recientes o acumulación de suciedad. Este análisis es esencial para distinguir las capas originales de las modificaciones posteriores, proporcionando datos clave para orientar futuras acciones de conservación.

Por otro lado, la figura de la derecha ofrece una vista lateral del rostro y parte del torso. De manera similar, las variaciones en la fluorescencia permiten identificar las diferencias entre la policromía original y las áreas intervenidas o repintadas, facilitando una evaluación detallada del estado de conservación.

4.3.1.2.2. Estudio radiológico con RX

En este apartado se reporta la evaluación radiológica de la escultura en soporte de madera en estudio.

Fue factible lograr imágenes en una escala apropiada, sin embargo, como se cita en la literatura, los elementos que no fueron irradiados directamente de manera ortogonal podrían presentar deformaciones, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de la interpretación. Para el estudio se acudió a un centro radiológico médico.

De los datos recopilados se pueden distinguir: número y ubicación de los ensamblajes que la gran mayoría de las veces pueden estar ocultos por la policromía o adiciones como la tela encolada; elementos decorativos, el número de elementos componentes del soporte de la imagen, esto es si está elaborada en un solo bloque, si posee máscara, reconocida como la talla de rostro que permite inserción de postizos (ojos, dientes y paladar) y que es luego adherida a la cabeza.

También es posible evaluar el estado de conservación (faltantes de soporte, de base de preparación y/o policromía

Como resultado del estudio, (Figura 10) con esta técnica se detectaron grietas o fendas internas, clavos ocultos bajo el ropaje del personaje e injertos y se comprobó la ejecución de intervenciones anteriores, proporcionando una comprensión detallada del estado estructural de la escultura.

La estructura interna de la escultura, incluyendo la madera base y los ensamblajes, parece estar intacta, aunque presenta ciertas irregularidades. Se reveló el uso de clavos y refuerzos metálicos en el cuello, el hombro y otras áreas del busto, confirmando intervenciones anteriores. También se observan áreas con diferencias en la densidad del material, sugiriendo la presencia de injertos o materiales adicionales utilizados en restauraciones previas.

Las variaciones en la densidad del material indican diferentes grosores de madera o materiales compuestos utilizados en el embón de la creación o restauración de la escultura. Además, se pueden observar aparentes grietas internas y áreas de deterioro no visibles externamente por estar cubiertas por el ropaje del evangelista.

Figura 10

Radiografía del busto de la escultura (San Lucas).



Nota: Se observa los clavos usados para reforzar la estructura de madera y áreas de baja densidad radiográfica en el cuello que denota posibles faltantes.

4.4. Identificación de elementos sustentados

4.4.1. Análisis de soportes y estratigrafías

Se hace necesario realizar el análisis composicional, estratigráfico y químico de dos muestras de la escultura de *San Lucas* mediante evaluación óptica mediante microscopía óptica y estereoscópica.

- Nombre : Análisis de Soportes y Estratigrafías
- Tipos de Análisis : Análisis Microscópico Estratigráfico
Microquímico
- Número de Muestras: 02

- Número de Bolsas : 02 bolsas de papel

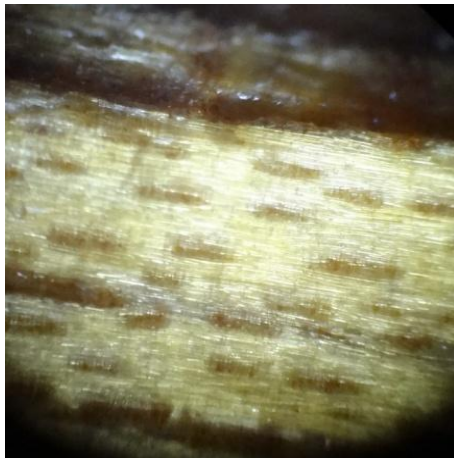
Se tomaron dos muestras de soportes y estratigrafías de la escultura policromada de *San Lucas* del templo de San Francisco para su estudio composicional, análisis estratigráfico y químico mediante evaluación por microscopía óptica y estereoscopía.

Se prepararon las muestras efectuando cortes seccionales para su estudio utilizando el Microscopio BOECO (Germany) de 4x, 10X y 50X con luz incidente. Se realizaron análisis microquímicos y cortes transversales en secciones pulidas embebidas en resina acrílica. Se codificaron y se procedió a la identificación de aglutinantes con reacciones microquímicas de color. También se realizaron estudios dendrológicos.

En la Figura 11, se evalúa el soporte madera de la escultura de San Lucas, correspondiente a la muestra N° M 1.1

Figura 11

Corte tangencial del soporte de madera.

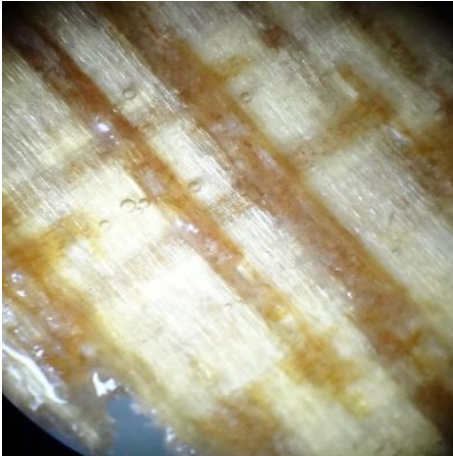


Nota: se muestra el corte histológico tangencial de la madera utilizada en la escultura de San Lucas.

Se pueden observar las fibras de la madera, La orientación y disposición de las fibras son características típicas de la madera de cedro, la observación sugiere un material homogéneo y bien preservado.

Figura 12

Corte longitudinal del soporte de madera.

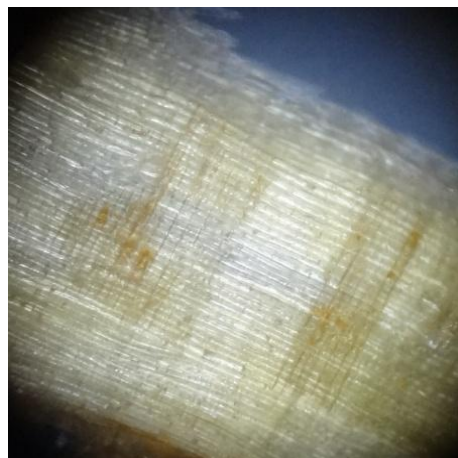


Nota: En la figura 12 se muestra una micrografía de un corte seccional de madera, observada mediante microscopía para identificar el soporte de madera utilizado en la escultura de San Lucas.

La micrografía revela la estructura celular de la madera, mostrando una disposición regular de las fibras. Las zonas más oscuras y más claras visibles en la imagen indican variaciones características, típicas de la madera de cedro.

Figura 13

Registro micrografía de identificación del soporte de madera lámina delgada correspondiente madera Cedro (5x).



Nota: En esta figura se muestra una micrografía de corte histológico de madera, observada mediante microscopio para identificar el soporte de madera utilizado en la escultura de San Lucas.

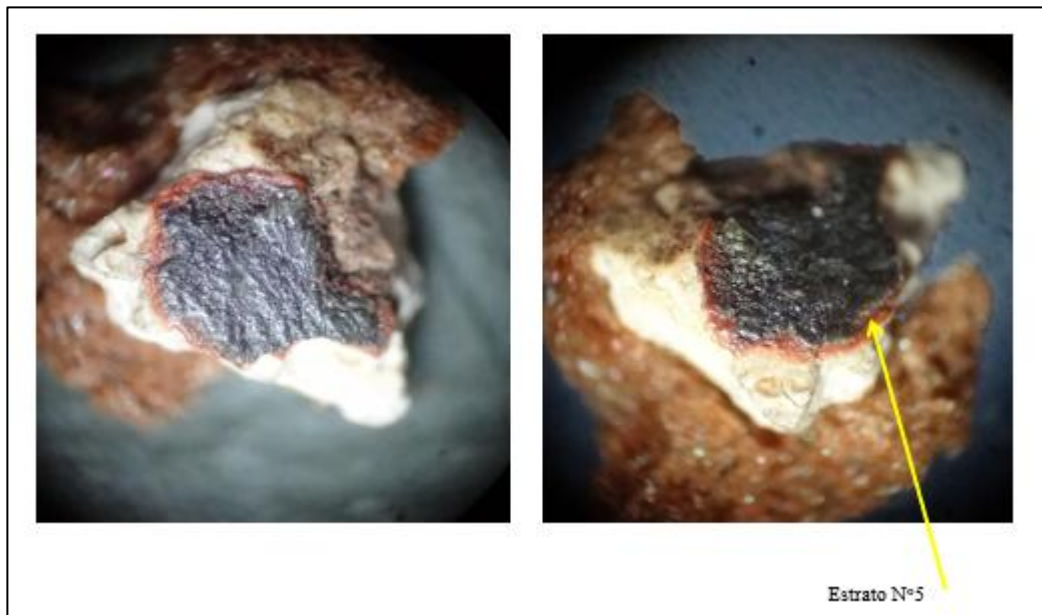
Como resultado del estudio histológico se tiene que: la estructura celular detallada de la madera, muestra disposición regular de las fibras en un aceptable o buen estado de conservación. La variación en la densidad y color de las fibras es característica de la madera cedro.

Descripción taxonómica

- Reino: Plantas
 - Division: Magnoliophyta
 - Clase: Magnoliopsida
 - Orden: Sapindalis
 - Familia: Meliaceae
 - Género: *Cedrella Lilloi*

Figura 14

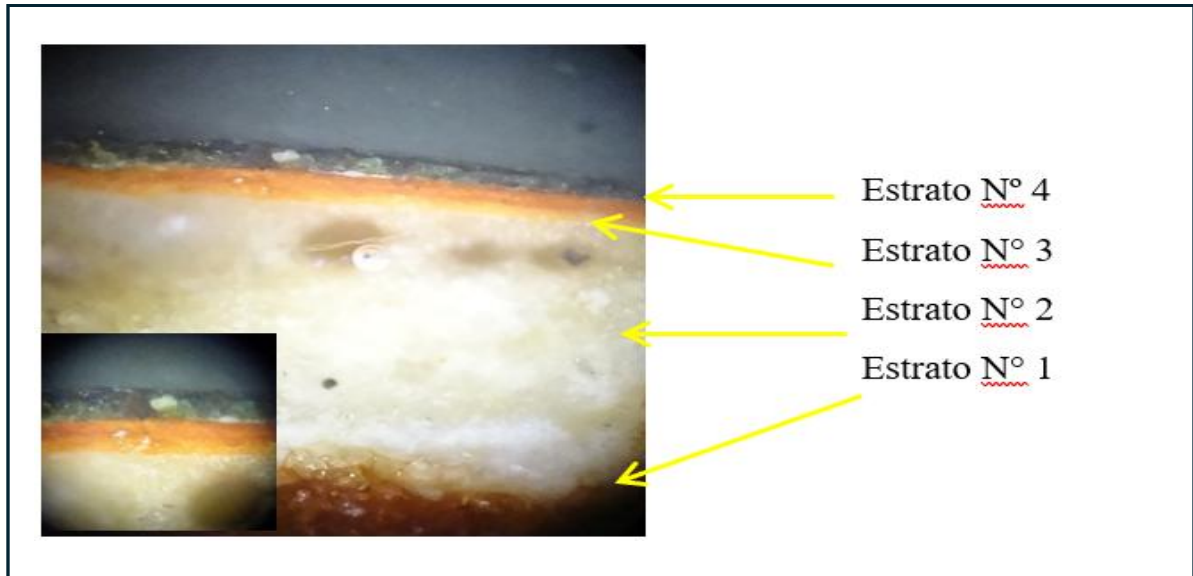
Registro panorámico de la superficie de la muestra del pigmento marrón a 5X.



La imagen panorámica frontal a 50X (Figura 14) muestra la superficie de la observándose el pigmento marrón y la estratificación de los diferentes pigmentos y materiales aplicados en la escultura.

Figura 15

Micrografía de corte estratigráfico de pigmento azul negruzco (20X).



En la micrografía a 20X (Figura 15) se muestra el corte estratigráfico del pigmento azul negruzco, revelando cinco estratos diferentes:

- Estrato N°1: Corresponde al soporte de madera, que se presenta con un exceso de cola proteica. La preparación adecuada del soporte es crucial para la estabilidad de las capas superiores.
- Estrato N°2: De color blanquecino que corresponde a la base de preparación, conformado por sulfato de calcio aglutinado en medio proteico. Fue aplicado doble vez. Esta capa proporciona una base uniforme para la aplicación de los pigmentos.
- Estrato N°3: Estrato de color rojo, compuesto por pigmento rojo, bol de naturaleza férrica aglutinado en medio oleico. Este estrato aporta una tonalidad cálida y sirve como una capa intermedia.
- Estrato N°4: Estrato de color azul negruzco, formado por pigmento azul de Prusia mezclado con negro de humo y aglutinado en medio oleico. Este estrato es significativo por su coloración oscura y profunda, que contribuye al aspecto final de la escultura.

- Estrato N°5: Un estrato translúcido correspondiente al barniz de protección, de naturaleza resinosa de origen vegetal. Este barniz proporciona una capa protectora final, que ayuda a preservar los pigmentos subyacentes y mejora la durabilidad de la superficie pintada.

4.5. Intervención Conservativa – Restaurativa de la Escultura Policromada San Lucas

4.5.1. Actividades preliminares

4.5.1.1. Análisis preliminar para la toma de decisiones

Antes de proceder con la intervención conservativa y restaurativa de la escultura policromada de San Lucas, se realizaron análisis y diagnósticos basados en estudios organolépticos, registros fotográficos en UV y rayos X, así como análisis biológicos. Estos estudios permitieron identificar el estado de conservación y determinar las intervenciones necesarias, siguiendo criterios de intervención conservativa y restaurativa. La propuesta de intervención comprendió las siguientes actividades.

Tabla 19

Propuesta de intervención.

Propuesta de intervención		
	De conservación	
1	Esta fase incluye todos los procedimientos necesarios para asegurar la preservación de la escultura y detener cualquier proceso de deterioro que pueda comprometer su estabilidad estructural o estética.	
1.1.	Análisis biológico	Realizado
1.2.	Desinfección preventiva	Realizado
1.3.	Digitalización	Realizado
1.4.	Toma de imágenes con rayos UV	Realizado
1.5.	Toma de imágenes con RX	Realizado
1.6.	Análisis físico químico	Realizado
1.7.	Análisis estratigráfico	Realizado

1.8.	Limpieza superficial	Realizado
1.9.	Aplicación de test solubilidad	Realizado
1.10	Aplicación de test higroscopicidad	Realizado
1.11	Limpieza química y mecánica	Realizado
De restauración		
2	Esta fase se centró en la estabilización de las partes dañadas, la reintegración cromática y la consolidación de los materiales estructurales y decorativos.	
2.1.	Consolidación estructural de refuerzos en los pies (puntual)	Realizado
2.2.	Consolidación estructural del manto parte posterior (lado derecho)	Realizado
2.3.	Restitución de la base de preparación (puntual)	Realizado
2.4	Consolidación de la capa pictórica	Realizado
2.5.	Reintegración cromática (puntual)	Realizado
2.6.	Observaciones e imprevistos	Realizado

En la propuesta de intervención detallada en la tabla 19 se establecieron las actividades necesarias para la conservación y restauración de la escultura policromada de *San Lucas*, proyectadas hasta mayo de 2024 y previas a la ejecución de las actividades de aplicación de las tecnologías digitales para la impresión de los faltantes volumétricos y consiguientemente el logro del objetivo principal.

Tabla 20*Cronograma de la intervención desarrollada.*

Nro.	Nombre de la tarea	Duración (días)	Comienzo	Final
1	De conservación	120	5/09/23	18/02/24
2	Análisis biológico	15	5/09/23	23/09/23
3	Desinfección preventiva	16	24/09/23	15/10/23
4	Digitalización	20	4/10/23	29/10/23
5	Toma de imágenes con rayos UV	5	1/11/23	5/11/23
6	Toma de imágenes con RX	7	15/10/23	25/10/23
7	Análisis fisicoquímicos	10	29/10/23	11/11/23
8	Análisis estratigráficos	8	12/11/23	23/11/23
9	Limpieza superficial	5	24/11/23	30/11/23
10	Prueba de solubilidad	2	23/12/23	24/12/23
11	Prueba de higroscopicidad	3	14/01/24	17/01/24
12	Limpieza química y mecánica	20	24/01/24	18/02/24
13	De restauración	561	1/03/22	23/04/24
14	Consolidación estructural de refuerzos en los pies	15	1/03/22	21/03/22
15	Restitución de la base de preparación	20	23/03/22	19/04/22
16	Consolidación de la capa pictórica	15	6/04/22	26/04/22
17	Reintegración cromática	30	29/04/22	9/06/22
18	Modelización digital de las piezas faltantes volumétricas.	20	3/07/23	28/07/23
19	Impresión 3D	2	26/12/23	27/12/23
20	Colocación de piezas faltantes volumétricas anatómicas	15	2/01/24	22/01/24
21	Observaciones e imprevistos	20	25/03/24	19/04/24
22	Barnizado final	1	22/04/24	22/04/24

Nota: datos tomados de la bitácora de trabajo.

4.6. Procedimientos de intervención

Los procedimientos llevados a cabo para la restauración y conservación de la escultura policromada de *San Lucas* siguieron métodos basados en teorías contemporáneas sobre modelización digital e impresión 3D, así como en técnicas tradicionales de restauración de esculturas policromadas. A continuación, se detallan los principales procedimientos tradicionales realizados para dejar la escultura lista para la reintegración de faltantes volumétricos.

4.6.1. Conservación general

4.6.1.1. Desinfección

El proceso de desinfección tuvo como objetivo eliminar los microorganismos (hongos, mohos, bacterias y otros agentes biológicos) que deterioran los materiales orgánicos de la escultura y comprometen su estabilidad estructural y estética.

Procedimiento

a) Procedimiento 1: Desinfección con etanol 70°

Previamente se realizó una limpieza utilizando una aspiradora de mano con la finalidad de eliminar polvo y pelusas.

El método inicial consistió en encapsular la escultura en una manga de plástico y nebulizar alcohol etílico al 70°B. Este procedimiento creó una atmósfera cerrada donde el alcohol se volatilizó, actuando como agente desinfectante. Para asegurar que este método no causará alteraciones en la policromía, se realizaron pruebas preliminares de solubilidad en áreas discretas de la escultura. La evaluación demostró que la policromía era resistente a la acción del etanol, sin desprendimientos ni decoloraciones visibles.

Figura 16

Proceso de encapsulamiento de la escultura en la manga de plástico.



b) Procedimiento 2: Método alternativo – Desinfección con luz ultravioleta (UV-C)

Como complemento al uso de etanol, se empleó luz ultravioleta tipo UV-C, una técnica reconocida en la desinfección de superficies médicas y científicas. La radiación UV-C actúa destruyendo el ADN y ARN de microorganismos como bacterias y hongos, lo que impide su reproducción. Este procedimiento se realizó en una cámara controlada con tiempos de exposición de 20 a 30 minutos por área, manteniendo una distancia de 30 cm para evitar cualquier daño a los materiales orgánicos de la escultura.

Ambos procedimientos fueron aplicados de manera complementaria para maximizar la eliminación de microorganismos y garantizar la preservación de la escultura.

Resultados

La desinfección fue exitosa en ambas metodologías:

Con etanol: La volatilización del alcohol actuó eficazmente sobre la superficie de la escultura, logrando la eliminación de los microorganismos presentes sin causar alteraciones visibles en la policromía.

Con UV-C: La exposición a radiación ultravioleta logró desinfectar áreas de difícil acceso y asegurar la destrucción de microorganismos resistentes al tratamiento químico.

La combinación de ambos métodos proporcionó un tratamiento seguro y efectivo, permitiendo preservar la integridad de la escultura y garantizar su estabilidad estructural y estética a largo plazo.

4.6.1.2. Limpieza superficial

La limpieza superficial es el procedimiento mediante el cual se remueven materiales extraños, como polvo, restos de evidencia entomológicas (insectos) y otras partículas sólidas, sin afectar ni alterar la capa original de la escultura policromada; buscando preservar la integridad de la obra mientras se mejora su presentación visual, eliminando cualquier agente externo acumulado con el tiempo.

Procedimiento

1. Preparación del área de trabajo

Antes de iniciar el proceso de limpieza, se delimitó un área de trabajo adecuada y protegida para evitar la reintroducción de polvo u otros contaminantes durante la intervención. Se verificó el estado de conservación general de la escultura, como se reportó en el acápite respectivo. para asegurar que las capas pictóricas estuvieran lo suficientemente estables antes de proceder.

Se utilizaron herramientas manuales, como brochas y pinceles de diferentes durezas para asegurar una limpieza delicada y controlada. La elección de estas herramientas se basó en la naturaleza de los materiales presentes en la superficie, así como en las áreas más delicadas de la escultura. Eventualmente se usó un bisturí o escariador para remover alguna concreción ajena a la obra.

Finalmente, el material suelto previamente se aspiró controlando la fuerza de succión.

Figura 17

Aplicación de la técnica de aspersión.



Adicionalmente, después de evaluar el resultado del procedimiento anterior, se complementó con limpieza manual usando brochas N°12 y pinceles N°10 y N°17 con lo que consiguió la eliminación de la suciedad acumulada en lugares de difícil acceso, adaptando el nivel de dureza de las herramientas según el área a tratar. En las zonas

más sensibles, se emplearon pinceles de cerdas suaves para evitar cualquier daño a la capa pictórica.

Seguidamente, se utilizó la aspiradora a baja succión para recoger el polvo y los residuos sueltos generados durante el proceso de limpieza, evitando que se reintroduzcan en la superficie de la escultura.

Concluido el procedimiento de limpieza superficial, se reevaluó la superficie observándose una mejora notable en el aspecto visual de la obra, lo que permitió corroborar o subsanar las observaciones iniciales realizadas en el examen preliminar.

Resultados

La limpieza, realizada con herramientas adecuadas y mediante técnicas de aspersión y aspirado, garantizó una intervención segura y preservó la capa pictórica original de la escultura policromada de San Lucas.

4.6.1.3. Prueba de solubilidad

La prueba de solubilidad es un procedimiento fundamental en la restauración de obras de arte, utilizado para identificar y verificar la resistencia de los pigmentos y otros componentes de la escultura al agua y otros solventes para elaborar el kit de solventes a usar en el denominado test de solventes. Esta prueba permite conocer si los pigmentos, tintas y capas pictóricas de la obra se disuelven o deterioran con el contacto con agua desionizada, u otro solvente ya sea polar o apolar, un aspecto clave antes de proceder a otras fases de conservación y restauración.

El objetivo de esta prueba fue determinar el grado de solubilidad de los pigmentos en diversas zonas de la escultura policromada de *San Lucas*. Esto resultó fundamental para evaluar la estabilidad de la capa pictórica y garantizar que las intervenciones no afectarán negativamente los materiales originales de la obra. Los resultados obtenidos permitieron decidir qué técnicas y productos podían usarse de manera segura en las fases posteriores de restauración, como la limpieza y consolidación.

Procedimiento

1. Selección de las zonas a evaluar

Se seleccionaron varias áreas representativas de la escultura, incluyendo zonas de carnación (rostro y cuello), vestimenta y detalles más pequeños como los labios y el cabello. Estas áreas proporcionarían un amplio rango de colores y texturas para la evaluación.

2. Aplicación de agua desionizada y otros solventes

La prueba se realizó utilizando hisopos humedecidos con agua desionizada inicialmente, y mezclas de otros solventes. Se aplicó suavemente el hisopo en cada zona seleccionada para evaluar la solubilidad de los pigmentos. Esta técnica minimizó el riesgo de dañar la superficie al aplicar el agua de forma controlada y localizada.

3. Observación de los resultados

Cada aplicación fue monitoreada para verificar la reacción de los pigmentos. Se prestó especial atención al sangrado o migración de pigmentos, lo que indicaría una solubilidad alta y, por ende, una mayor vulnerabilidad de la capa pictórica.

4. Registro fotográfico y mapeo

Se realizaron fotografías de cada área antes y después de la prueba con el objetivo de documentar los resultados. Además, se mapearon las zonas evaluadas para registrar de manera clara las áreas y sus respectivas respuestas al agua.

Figura 18

Registro fotográfico de la prueba de solubilidad.



Resultados

Los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla, mostrando la solubilidad de los pigmentos en cada área seleccionada:

Tabla 21

Resultados de solubilidad.

Artículo	Color	Zona	Resultado
1	Carnación	Rostro	Sin sangría
2	Carmín	Labios	Sin sangría
3	Negro	Cabello	Sin sangría
4	Rosado (repinte)	Cuello	Sin sangría
5	Bermellón	Pastel	Sin sangría

Figura 19

Mapeo de las zonas evaluadas.



Nota: Los puntos blancos indican las zonas donde se realizaron las pruebas de solubilidad.

Con la prueba de solubilidad en la escultura policromada *San Lucas* se demostró que los pigmentos son estables y no presentaron signos de sangrado o migración. Esto indicó que la limpieza de las capas pictóricas no demandaba el uso de otro disolvente. Además, el hecho de que no haya habido reacción en las zonas de carnes y vestimenta, incluso en áreas repintadas, fue interpretado como la presencia de una capa de protección bien preservada.

Se advirtió que en las intervenciones precedentes se habría procedido a la limpieza de la escultura, y observándose que el agua desionizada era suficiente para realizar la limpieza húmeda ya no se testearon otros solventes.

La ausencia de alteraciones tras la aplicación de agua en las zonas evaluadas confirma la estabilidad de la capa pictórica y respalda el uso de técnicas acuosas para las intervenciones posteriores.

4.6.1.4. Prueba de higroscopicidad

La prueba de higroscopicidad es un procedimiento utilizado para evaluar la capacidad de un material para absorber la humedad del ambiente y su posible efecto en la durabilidad y conservación de la escultura. Esta prueba es fundamental para determinar cómo los materiales de la escultura (como la madera y las capas de policromía) reaccionan ante la humedad, lo cual puede influir en su preservación y tratamiento futuro.

El objetivo de esta prueba fue determinar el grado de absorción de humedad en el soporte (madera) y otras superficies de la escultura policromada de *San Lucas*. Esto permitió comprender cómo la escultura reaccionaba a condiciones de humedad, evaluando la capacidad de los diferentes componentes para resistirla y prevenir que esto causara deterioro en las capas pictóricas y el soporte.

Procedimiento

Se seleccionaron diversas áreas clave de la escultura, tales como el rostro (carnación), la túnica, el pie de la escultura y la peana, que representan diferentes materiales y acabados.

Para la prueba, se utilizó una torunda de algodón embebido en agua desionizada aplicando en las zonas previamente seleccionadas, y se midió el tiempo que tardaba cada área en absorber la humedad. Esta medición proporcionó datos precisos sobre el comportamiento higroscópico de los distintos materiales.

Resultados

Se observó que en aquellas zonas que absorbieron rápidamente la humedad se presentaba un riesgo mayor de daño por condiciones ambientales con alta humedad, mientras que aquellas zonas que no absorbieron el agua indican una mejor protección o barrera contra la humedad.

Los resultados se documentaron para cada zona, y se observaron diferencias significativas entre las áreas con y sin capa de protección.

Figura 20

Prueba de higroscopicidad.



Los resultados de la prueba de higroscopicidad en la escultura policromada *San Lucas* se detallan en la siguiente tabla, mostrando el tiempo de absorción de agua en cada área y la capacidad de resistencia de los materiales:

Tabla 22*Resultados de la prueba de higroscopicidad.*

Nro.	Material del componente	Zona	Resultado (minutos)
1	Agua desionizada	Carnación (rostro)	15:14.99 min (sin absorción)
2	Agua desionizada	Túnica (pecho)	13:20.21 min (sin absorción)
3	Agua desionizada	Pastel (madera)	04:04.42 min (absorbente)
4	Agua desionizada	Pie (policromía)	03:59.13 min (absorbente)
5	Agua desionizada	Peana (madera)	06:03.43 min (absorbente)

En las zonas donde no se encuentra una capa de protección visible, la prueba de higroscopicidad fue más rápida, lo que indica la necesidad de implementar tratamientos adicionales en estas áreas para su impermeabilización. Esta información es crucial para garantizar la estabilidad a largo plazo de la escultura.

4.6.1.5. Limpieza química y mecánica

La limpieza química y mecánica es un proceso esencial que permite acceder a la superficie original de la escultura, eliminando capas no deseadas o acumulaciones externas, tales como suciedad o material ajeno a la obra original que pudo no haberse eliminado en anteriores procedimientos. Este paso es crucial para crear condiciones adecuadas para las intervenciones posteriores, como la consolidación o la reintegración de capas pictóricas.

El objetivo de este proceso fue eliminar las alteraciones externas presentes en la escultura mediante métodos de limpieza mecánica y química, garantizando la integridad de la capa original. Se emplearon técnicas controladas y precisas para evitar cualquier daño a los estratos originales de la escultura, especialmente en zonas sensibles como los pies.

Procedimiento

1. Limpieza química

Se aplicó una solución acuosa de jabón neutro diluido en agua destilada para disolver la suciedad superficial resistente sin afectar la policromía original. La solución fue aplicada con hisopos de algodón de manera localizada y controlada,

enjuagándose la superficie tratada con la intención de no dejar rastros del jabón utilizado.

2. Limpieza mecánica

Tras la evaluación mediante las pruebas de higroscopicidad y solubilidad, se procedió con la limpieza mecánica controlada en las áreas más afectadas. Se emplearon bisturíes para retirar los materiales externos que cubrían ciertas partes de la escultura, en especial los pies. Este proceso fue delicado debido a la necesidad de evitar retirar capas originales de la policromía.

Una de las principales dificultades durante la limpieza mecánica fue ejercer la presión adecuada sobre la escultura, en especial en las áreas más deterioradas, como los pies. Se necesitaba equilibrio cuidadoso entre aplicar suficiente presión para eliminar el material externo, pero no tanto como para dañar la base o la policromía original.

Figura 21

Prueba de higroscopicidad en los 'pies y botines de la escultura.



Nota: la zona registrada manifestaba mayor absorción hídrica.

Resultados

Se logró la eliminación de agentes externos de manera efectiva, en especial en las áreas más comprometidas, como los pies de la escultura (Figura 21), donde se encontró material extraño adherido. La limpieza permitió que la escultura recobrara

su apariencia visual original, liberando detalles de la capa pictórica que estaban ocultos.

4.7. Restauración de la escultura

4.7.1. Consolidación estructural

La base de preparación es una capa crucial que se encuentra entre el soporte (en este caso madera) y la capa pictórica en una escultura policromada. La separación de esta base del soporte constituye una patología grave, ya que una vez que la base se desprende, la policromía de la escultura se vuelve inestable y frágil. La pérdida de la base de preparación no solo compromete la manipulación segura de la obra, sino que también expone las capas pictóricas a daños irreversibles, dificultando o incluso impidiendo su conservación.

El objetivo principal de la consolidación estructural fue devolver la cohesión entre las diferentes partes que conformaban la escultura policromada de San Lucas, reforzando tanto el soporte de madera como las capas pictóricas y de preparación.

Además, se buscó sellar las grietas y restaurar las uniones entre los diferentes componentes de la obra, evitando que el deterioro avance y comprometiera su estabilidad a largo plazo. Se procedió siguiendo los siguientes pasos.

Procedimiento

1. Inspección y diagnóstico

- Se realizó una revisión exhaustiva de la estructura de la escultura para identificar grietas, aberturas y otras formas de daño en el soporte de madera. Este diagnóstico se llevó a cabo mediante análisis visual amplificada con una lupa y utilizando herramientas de detección no invasiva, ocasionalmente el endoscopio.

2. Preparación de la intervención

- Se seleccionaron materiales compatibles con los originales de la obra, como madera de cedro y acetato de polivinilo, asegurando que los nuevos materiales no alterarán ni el aspecto ni la composición estructural de la escultura.

3. Sellado de grietas

- Las aberturas entre los conjuntos y los agujeros identificados en varias zonas de la escultura, como los tobillos, los pies y la parte posterior, fueron rellenadas. Para las aberturas de mayor tamaño, se utilizó cola blanca sintética, que proporcionó una base sólida para la intervención.

- A continuación, se aplicó una pasta de aserrín de cedro mezclada con acetato de polivinilo para rellenar las oquedades hasta alcanzar el nivel de la superficie deseada. Este paso fue fundamental para lograr una estructura sólida y estable.

4. Consolidación interna del soporte

- Se aplicó acetato de polivinilo en las uniones de los conjuntos de la madera para devolverle la cohesión interna.

- Las áreas intervenidas fueron posteriormente alisadas y niveladas con herramientas como escarpelos y pinceles, garantizando que las reparaciones no interfirieran con la estética de la escultura.

5. Revisión y ajustes finales

Una vez finalizada la consolidación, se realizaron ajustes para asegurar que las intervenciones no alteren la apariencia original de la escultura. Se verificó que las zonas intervenidas quedaran alineadas con la estructura general, manteniendo la integridad visual de la obra.

Figura 28

Aplicación de acetato de polivinilo en las uniones de los ensambles de la escultura.



Resultados

La consolidación estructural de la escultura de *San Lucas* resultó en una notable mejoría en la estabilidad física de la obra, lo que garantiza su conservación a largo plazo.

Las grietas y los daños estructurales fueron reparados de manera efectiva, preservando la autenticidad de la escultura y respetando su composición original.

La intervención fue ejecutada con materiales compatibles, asegurando que la escultura mantenga su integridad visual y estructural.

Figura 29

Proceso de nivelación y pulido de las áreas intervenidas en la escultura.



Figura 30

Consolidación de los pies de la escultura: proceso de relleno y reforzamiento.



Nota: Se adhirió consolidando el pie sobre la peana y rellenando con pasta de aserrín el faltante.

4.7.2. Restitución de la base de preparación

La base de preparación es una capa preparatoria que se encuentra entre el soporte (en este caso, madera) y la capa pictórica en una escultura policromada. La separación de esta base del soporte constituye una patología grave, ya que una vez que la base se desprende, la escultura comienza a perder estratos decorativos y cromáticos. La pérdida de la base de preparación no solo compromete la manipulación segura de la obra, sino que también expone las capas pictóricas a daños irreversibles, dificultando o incluso impidiendo su conservación.

El objetivo principal de la restitución de la base de preparación fue asegurar la fijación y estabilidad de las capas pictóricas al soporte, seleccionando los materiales más adecuados para imitar la preparación original. Esto garantizó la durabilidad y estabilidad de la policromía y ayudó a preservar la escultura en su entorno de conservación actual y futuro.

Procedimiento

El proceso de restitución de la base de preparación se lleva a cabo en varias etapas:

Se utilizó carbonato de calcio (tiza) mezclada con cola animal (coleta) en una proporción adecuada. La mezcla fue preparada al baño maría para mantener la cola fluida y evitar la formación de grumos.

Seguidamente con la ayuda de un pincel fino (000) se aplicó la masa en las áreas donde la base de preparación original se había desprendido. La aplicación fue cuidadosa y puntual, asegurando que no se sobrecargue ninguna área y que la nueva base sea perfectamente compatible con la original. Previamente se humectaron las zonas con una solución etanólica acuosa.

Una vez seca la nueva capa de preparación se procedió a su pulido. Para esto, se utilizaron raederas, piedra pómez y lija fina, de manera que la superficie alcance la suavidad y uniformidad necesarias para recibir la posterior reintegración cromática o restauración de la capa pictórica.

Una de las principales dificultades en este proceso fue evitar la sobre aplicación del material. Si se aplica una capa demasiado gruesa de la base de preparación, puede crearse una diferencia visible con las áreas circundantes. Además, es esencial que la mezcla de carbonato de calcio y cola animal se aplique en las proporciones exactas, ya que una mezcla incorrecta podría afectar la durabilidad o la capacidad de adhesión de la base.

Resultados

La restitución de la base de preparación se logró satisfactoriamente logrando estabilizar las áreas de la escultura donde esta capa se había desprendido, devolviendo la cohesión entre el soporte y las capas pictóricas. La superficie resultante es uniforme, suave y lista para recibir la posterior intervención, como la consolidación de la capa pictórica o la reintegración cromática. Este tratamiento fue esencial para garantizar que las futuras manipulaciones de la escultura puedan realizarse sin riesgo de daños adicionales.

Figura 31

Restitución de la base de preparación.

**4.7.3. Consolidación de la capa pictórica**

La consolidación de la capa pictórica es un tratamiento necesario para resolver problemas graves de separación o desprendimiento entre la capa pictórica y el soporte en una escultura policromada. Este tipo de deterioro es una de las patologías más comunes y peligrosas en esculturas antiguas, ya que compromete notablemente la integridad estética de la obra. La consolidación se convierte en una prioridad en el tratamiento para evitar pérdidas irreversibles.

El objetivo principal de este procedimiento fue restablecer la cohesión entre la capa pictórica y la base de preparación, devolviendo la estabilidad a la superficie policromada de la escultura sin alterar su aspecto original. Este proceso garantizó que las capas pictóricas permanecieran adheridas al soporte y no sufrieran más desprendimientos durante su manipulación o conservación futura.

La consolidación de la capa pictórica se realizó a través de una técnica de fijación que consistió en los siguientes pasos:

1. Limpieza preliminar

- Antes de proceder con la consolidación, se limpió cuidadosamente la superficie para eliminar cualquier partícula o agente que pudiera interferir con la adhesión.

2. *Inyección del adhesivo (coleta italiana)*

- Se utilizó una jeringa hipodérmica de 10 ml para inyectar cola de origen animal (coleta italiana) en las zonas donde la capa pictórica se encontraba desprendida. Esta cola fue previamente diluida en agua destilada para lograr la consistencia adecuada y mantenida en baño maría.

- Primero, se aplicó como tensoactivo una solución de etanol y agua destilada en la zona para mejorar la penetración del adhesivo.

3. *Fijación de las capas desprendidas*

- Una vez inyectado el adhesivo, se aplicó calor y presión con una espátula térmica cubriendo la zona con papel antiadherente o siliconado y asegurando la adherencia completa entre la capa pictórica y el soporte.

4. *Aplicación de presión*

- Finalmente, se aplicó presión de forma uniforme sobre las zonas tratadas para asegurar que las capas pictóricas queden completamente asentadas sobre la base de preparación. Esto se realizó cuidadosamente para evitar dañar la policromía original.

Una de las principales dificultades en este procedimiento fue asegurar que el adhesivo penetre adecuadamente en las áreas afectadas sin afectar las zonas circundantes no deterioradas. Además, la aplicación de calor y presión debió realizarse de manera precisa para evitar dañar la superficie pictórica. Cualquier error en la aplicación de estos pasos podía resultar en una consolidación deficiente o en daños adicionales a la escultura.

Resultados

La consolidación de la capa pictórica fue exitosa, devolviendo la cohesión entre la capa pictórica y la base de preparación. Las áreas tratadas quedaron completamente fijadas, lo que garantiza la estabilidad de la escultura durante su manipulación y exhibición futuras. Además, el uso de materiales compatibles con los

originales y técnicas no invasivas asegura que la intervención no afectará la estética ni la autenticidad de la obra.

Figura 32

Consolidación de la capa pictórica.



4.7.4. Reintegración cromática

La reintegración cromática es un proceso de restauración con el que se busca devolver el aspecto visual uniforme a una escultura, recuperando el color y la coherencia estética en las áreas donde se ha perdido la policromía. Aunque la reintegración debe ser imperceptible a la distancia, debe ser reconocible al acercarse, para no falsear el carácter histórico de la obra ni confundir el original con lo restaurado. Este principio de discernibilidad es crucial en la restauración.

El principal objetivo de esta actividad fue restaurar la continuidad visual y estética de la escultura, manteniendo la integridad y la coherencia de la obra. El proceso estuvo orientado a mejorar la presentación de la escultura sin ocultar las intervenciones realizadas, asegurando que las zonas tratadas fueran fácilmente reversibles y compatibles con los materiales originales.

Procedimiento

La reintegración cromática fue cuidadosamente planificada y ejecutada siguiendo técnicas tradicionales y contemporáneas de restauración. El proceso incluyó los siguientes pasos:

1. Preparación de las áreas a tratar

- Se limpió cuidadosamente la superficie a intervenir para eliminar polvo y partículas sueltas que pudieran interferir con la aplicación del color.
- Las áreas donde faltaba la capa pictórica fueron emboladas con tonos rojizos para que la reintegración resultara lo más cercana al color original.

2. Selección de los colores adecuados

- Se seleccionaron tonos compatibles con el original de la escultura, evitando colores que fueran demasiado brillantes o saturados. Los materiales cromáticos utilizados fueron totalmente inocuos y reversibles, asegurando que las intervenciones no alteren el material original y puedan ser removidas en el futuro sin dañar la obra.

3. Aplicación de la reintegración cromática

- Utilizando pinceles finos se aplicó las capas de color en las zonas afectadas. Se recurrió a la técnica de temple considerando los resultados de los análisis fisicoquímicos reportados previamente.

4. Finalización y protección

- Después de la aplicación de color, se bruñó la superficie con una espátula y un bruñidor para igualar la textura y lograr que el área tratada tuviera un acabado similar al original. Se dejó secar completamente la zona antes de proceder con la siguiente fase de protección.

Resultados

La reintegración cromática devolvió a la escultura su aspecto estético y continuidad visual, respetando su originalidad. Las áreas tratadas son discernibles al detalle, pero no interfieren con la apreciación general de la obra. El uso de materiales reversibles asegura que la intervención sea respetuosa con los principios éticos de la conservación y restauración.

Figura 22

Aplicación de la reintegración cromática en una zona de pérdida.

**Figura 34**

Bruñido de la superficie tras la reintegración cromática.



La reintegración cromática es un procedimiento esencial en la restauración de esculturas policromadas, ya que permite devolver la unidad estética y visual sin comprometer la autenticidad del objeto. Este proceso asegura que las áreas tratadas sean reversibles y que la escultura mantenga su valor histórico y cultural.

Resultados

Con la actividad descrita se logró la restitución cromática y consiguientemente la lectura iconográfica de la técnica de decoración.

4.7.5. Reintegración cromática y barnizado de las manos

La reintegración cromática y el barnizado final son fases críticas en la restauración de esculturas policromadas, ya que garantizan la cohesión visual entre las piezas originales y las integradas.

En el capítulo V se da cuenta pormenorizada de la elaboración de las manos que constituyen los faltantes volumétricos que ya insertados a los brazos mediante adhesión magnética, necesitan ser finalmente coloreados.

En este acápite se dará a conocer el procedimiento seguido para este fin.

En este caso, la reintegración cromática de las manos faltantes fue realizada con materiales reversibles y técnicas no invasivas para respetar la autenticidad y valor histórico de la escultura policromada de *San Lucas*, asegurando la integración visual de las manos impresas en 3D con el resto de la escultura, mediante la aplicación de colores y barniz que respeten la textura y tonalidad originales. Este procedimiento tuvo como finalidad devolver la uniformidad estética a la obra, garantizando al mismo tiempo la reversibilidad de la intervención.

Procedimiento

1. Preparación de las piezas para la reintegración cromática

- Limpieza preliminar: Las manos impresas fueron limpiadas con un paño seco y aire comprimido para eliminar cualquier residuo de polvo antes de aplicar la pintura.
- Imprimación de la superficie: Se aplicó una capa de impresión acrílica para preparar la superficie y asegurar una mejor adherencia de los pigmentos.

2. Selección y mezcla de colores

- *Análisis cromático*: Se utilizaron muestras tomadas de la escultura original para identificar la paleta exacta de colores. Este análisis permitió recrear los tonos y matices originales.

- *Pruebas de color:* Se realizaron pruebas en materiales de descarte para garantizar que los colores mezclados coincidieran perfectamente con la policromía original.

3. Aplicación de la pintura

- *Técnica de aplicación:* Utilizando pinceles de cerdas suaves y finas, se aplicaron varias capas de pintura al óleo diluida en barniz Dammar, lo que permitió lograr la translucidez y profundidad características de la policromía original.

- *Detalles finales:* Se añadieron sombras, brillos y degradados para que las piezas integradas reprodujeran fielmente el estilo artístico y las texturas de la escultura.

4. Barnizado final

- *Capa protectora:* Una vez terminada la reintegración cromática, se aplicó una capa de barniz de resina transparente sobre las piezas nuevas y las áreas circundantes, unificando el acabado visual.

- *Técnica utilizada:* El barniz fue aplicado con pinceles finos y bruñidores, asegurando una distribución uniforme y evitando acumulaciones.

5. Ajuste y revisión final

- *Inspección visual:* Se realizó una evaluación detallada bajo luz natural y artificial para verificar la uniformidad del acabado. Transcurrido un mes se volvió a evaluar para verificar que la polimerización del barniz no alterara los valores cromáticos.

- *Correcciones menores:* Se realizaron pequeños ajustes de color y barniz para perfeccionar la integración visual.

Resultados

Este procedimiento concluyó exitosamente, devolviendo a la escultura policromada de San Lucas su unidad estética y asegurando su conservación a largo plazo mediante una intervención ética y técnicamente adecuada.

CAPÍTULO V

DIGITALIZACIÓN, MODELACIÓN E IMPRESIÓN 3D DE LOS FALTANTES VOLUMÉTRICOS

5.1. Introducción

Se ha considerado desarrollar este capítulo con la intención de ilustrar de mejor manera los procedimientos de digitalización, modelación o modelado y la posterior impresión 3D de las pérdidas volumétricas más importantes de la escultura motivo de estudio.

Como puede apreciarse en la Figura la escultura carece de ambas manos y a nivel de las muñecas exhibe dos agujeros perfectamente cilíndricos denotando que las manos no eran parte del soporte principal, es decir del cuerpo. Claramente se observa que las manos de la escultura fueron elaboradas a parte y posteriormente insertadas en los muñones.

Figura 35

Faltantes volumétricos a tratar.



Una tercera pérdida es la tapa de la espalda. La lectura de esta zona correspondería a la capa que arropa al personaje y que por la parte posterior llega a sus talones. Sin embargo, no se tiene evidencia de ésta y proceder a su reintegración no correspondería según los criterios teóricos de la restauración.

Figura 36

Faltante volumétrico del dorso.



5.2. Digitalización

La digitalización fue el procedimiento mediante el cual se convirtió la información analógica de la escultura policromada de *San Lucas* en una representación digital tridimensional, utilizando la técnica de fotogrametría. Esta técnica implicó capturar múltiples imágenes de la escultura desde diferentes ángulos para generar un modelo digital preciso que incluya detalles sobre su geometría, textura y color.

El principal objetivo de la digitalización fue proteger y preservar la escultura mediante la creación de una réplica digital precisa. Esta réplica digital facilitó la conservación y el análisis de la obra, permitiendo su manipulación sin riesgo de daño físico. Además, brindará acceso a investigadores, conservadores y al público en

general a través de sistemas digitales, favoreciendo su difusión, estudio y documentación.

Procedimiento

1. Captura de imágenes

Se empleó una cámara digital Canon para capturar la imagen con múltiples fotografías y desde diversos ángulos. Estas imágenes fueron tomadas en alta resolución para garantizar el detalle en la geometría y texturas de la obra. El proceso de fotogrametría involucró una rotación sistemática de la cámara alrededor de la escultura, asegurando que todos los detalles tridimensionales fueran capturados adecuadamente.

Esquema de rotación de la cámara

La cámara fue colocada en distintas posiciones alrededor de la escultura, realizando capturas cada 10-15 grados de rotación para obtener una vista completa y detallada del objeto.

Figura 23

Esquema de rotación de la cámara durante la fotogrametría.



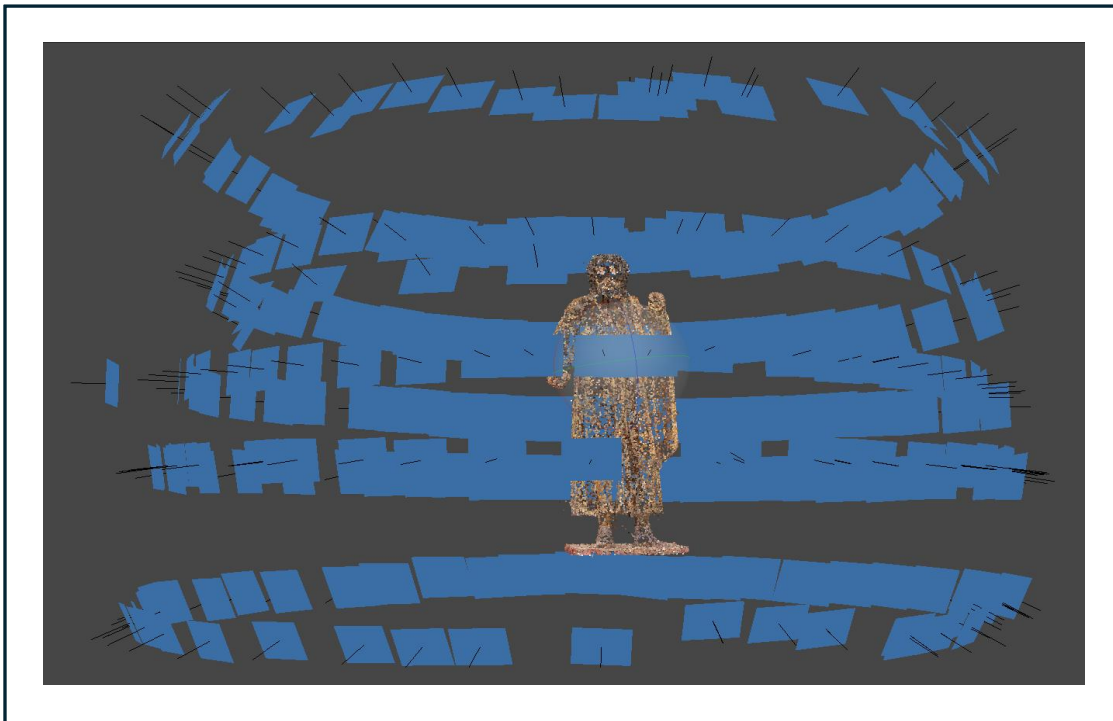
2. Alineación de imágenes

Una vez capturadas, las imágenes se alinearon utilizando el software Agisoft Metashape 2.1, especializado en fotogrametría. Se seleccionó este programa porque es un “software independiente que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D para ser utilizados en aplicaciones SIG, documentación del patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas” (Agisoft, s.f., p. 1)

Este software identifica puntos de coincidencia entre las distintas fotos y los utiliza para reconstruir la geometría tridimensional del objeto. El paquete del software desarrolla un flujo de trabajo lineal del proyecto, es intuitivo y es de fácil utilización incluso por quienes no son especialistas, mientras que los fotogrametristas profesionales pueden beneficiarse de funciones avanzadas (v.g. modo estéreo) y tener control total sobre la precisión de los resultados, obteniendo un informe detallado al final del procesamiento y que es, precisamente, el objetivo deseado en esta investigación (Agisoft, sf.).

Figura 24

Esquema de rotación de la cámara durante la fotogrametría.



3. Creación de la malla poligonal

Con las imágenes alineadas, con el software se generó una nube de puntos, que representa la estructura tridimensional básica de la escultura. A partir de esta nube de puntos, se construyó una malla poligonal que define las superficies de la escultura.

Figura 39

Creación de la malla poligonal.



4. Generación de texturas

Una vez completada la malla, se aplicaron las texturas y colores a la superficie digital utilizando las imágenes originales, para crear una réplica visualmente precisa de la escultura.

Figura 40

Generación de texturas.

**Equipos y programas digitales utilizados**

- Cámara digital Canon: Para capturar imágenes de alta resolución.
- Computadora con procesador Intel Core i7 y tarjeta gráfica independiente: Para manejar el procesamiento intensivo de datos.
- Software Agisoft Metashape 2.1: Para el procesamiento fotogramétrico, incluyendo alineación de imágenes, generación de la malla y texturizado.
- Software Phonoscan Pro ® 1.4.5: Que permite extraer nubes de puntos 3D de las imágenes y ortomosaicos basándose en algoritmos SFM y MVS y que en esta ocasión fue utilizado para complementar los procesos fotogramétricos y facilitar la manipulación y exportación de los datos.

La digitalización fue exitosa, generando un modelo tridimensional preciso de la escultura policromada de San Lucas. Este modelo no solo garantiza la preservación virtual de la obra, sino que también ofrece nuevas oportunidades para su estudio y difusión.

El proceso de fotogrametría permitió un registro detallado que puede ser utilizado para futuras restauraciones o investigaciones, sin necesidad de intervenir esencialmente en la escultura.

5.3. *Reconstrucción digital de faltantes volumétricos de la escultura: Manos*

Como se describió en párrafos anteriores se determinó realizar la reconstrucción virtual o digital de ambas manos de la escultura.

La restauración de las manos faltantes de la escultura policromada *de San Lucas* se llevó a cabo mediante la integración de técnicas avanzadas de modelización digital y la posterior impresión 3D, respetando los principios de conservación, reversibilidad e intervención no invasiva. Con este proceso se buscó devolver la unidad estética a la escultura, garantizando la precisión anatómica, estilística y cultural de las nuevas piezas.

5.4. *Modelización digital de las piezas faltantes: Manos (izquierda y derecha)*

La modelización digital es una técnica avanzada que permite reconstruir piezas faltantes de obras de arte mediante el uso de programas especializados en diseño tridimensional. En este caso, se utilizó el software Blender para diseñar y crear digitalmente las manos faltantes de la escultura, asegurando su coherencia con el diseño original.

Blender es un programa informático multiplataforma, diseñado para el modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales, además de otros usos.

El objetivo principal fue reconstruir digitalmente las manos faltantes para restituir la unidad estética de la escultura. La intervención se realizó siguiendo criterios de reversibilidad y no invasividad, generando un registro detallado para futuras intervenciones y estudios.

Procedimiento

1. Levantamiento fotogramétrico

- Se realizó un registro tridimensional de la escultura utilizando fotogrametría, técnica que combina múltiples imágenes de alta resolución capturadas desde diferentes ángulos. Este paso permitió obtener una réplica digital precisa que incluyó proporciones, texturas y detalles anatómicos.

- Capturas realizadas cada 10-15 grados alrededor de la escultura.
- Iluminación controlada para evitar sombras que distorsionen la textura.
- Procesamiento de las imágenes en Agisoft Metashape 2.1 para generar una nube de puntos (Point clouds).

2. Estudio antropométrico anterior

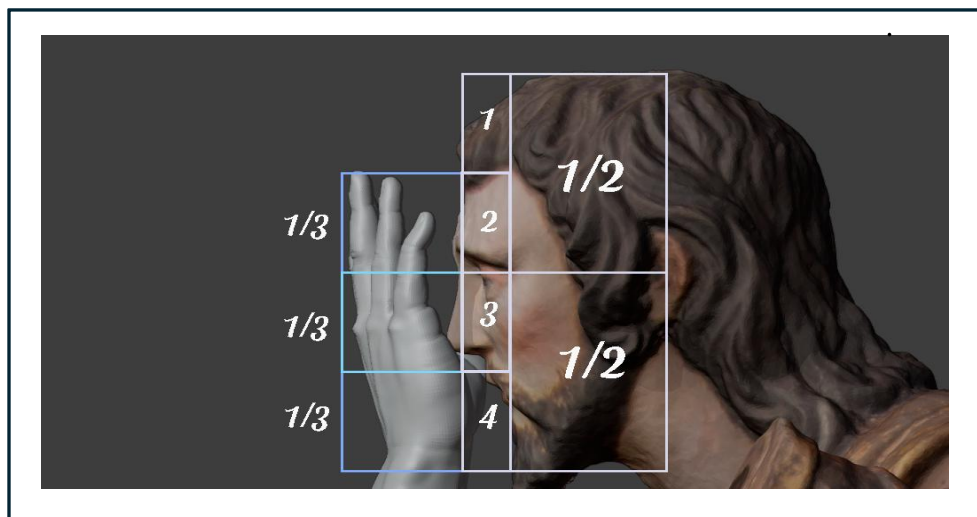
- Se utilizó el canon de Loomis para determinar la proporción de las manos en relación con la cabeza de la escultura. Este cálculo aseguró que las nuevas manos estuvieran en armonía con la escala general de la obra.

Cálculo

- Longitud de la cabeza: 19.5 cm
- Proporción de las manos: $\frac{3}{4}$ de la longitud de la cabeza (14.6 cm)

Figura 41

Proporciones antropométricas según canon Loomis.



1. Análisis de referencias históricas

- Se consultaron registros históricos, ilustraciones y esculturas similares del mismo período para identificar detalles iconográficos de las manos, como gestos, posición y elementos decorativos.

Procedimiento

1. Comparación de características anatómicas con esculturas similares.

- Análisis de manuscritos históricos que describen la función simbólica de las manos y observación de esculturas prototipo tanto físicas como virtuales.

2. Validación anatómica

- Se verificó la precisión del modelo preliminar comparándolo con referencias anatómicas humanas y esculturas similares.

Etapas de desarrollo

- Ajuste de las proporciones de los dedos, curvas de la palma y postura general.

- Simulaciones de la posición de las manos en el modelo tridimensional completo de la escultura.

3. Creación del modelo 3D

- Se empleó el programa informático Blender para modelar las manos faltantes, incorporando detalles anatómicos, texturas y proporciones realistas. Este proceso permitió obtener una malla tridimensional de alta precisión.

Etapas de desarrollo

- Importación de la nube de puntos desde Agisoft Metashape 2.1

- Modelado de detalles superficiales y texturas.

- Refinamiento de proporciones y características ornamentales.

4. Ajuste de texturas y superficies:

- Se aplicaron texturas basadas en estudios de policromía, asegurando que las nuevas manos tuvieran un acabado coherente con la escultura original.

Etapas de desarrollo

- Uso de texture maps UV. (Uso de mapas de texturas a objetos tridimensionales) generados a partir de las imágenes originales.

- Aplicación de tonos similares al resto de la policromía usando el programa informático Blender.

5. Optimización del modelo para impresión 3D

- Se preparó el modelo para impresión 3D, ajustando parámetros técnicos como la densidad de la malla y los soportes estructurales.

Etapas de desarrollo

- Conversión del modelo a formato STL. (formato de transmisión de datos estándar que se usa con frecuencia para la impresión en 3D y el diseño asistido por ordenador (CAD)).

- Reducción de la densidad de la malla sin pérdida de detalles.
- Configuración de soportes para piezas complejas.

4. Simulación de ensamblaje:

- Antes de imprimir, se realizó una simulación digital para verificar el ajuste de las manos en la escultura.

Etapas de desarrollo

- Ensamblaje digital del modelo completo.
- Evaluación de factores como estabilidad estructural y cohesión estética.

Figura 25

Registro fotogramétrico de la mano izquierda.

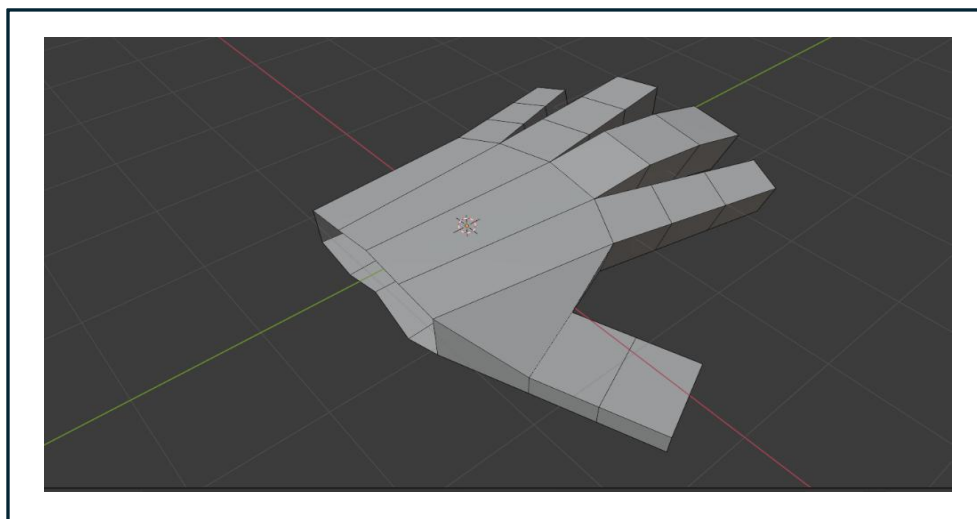
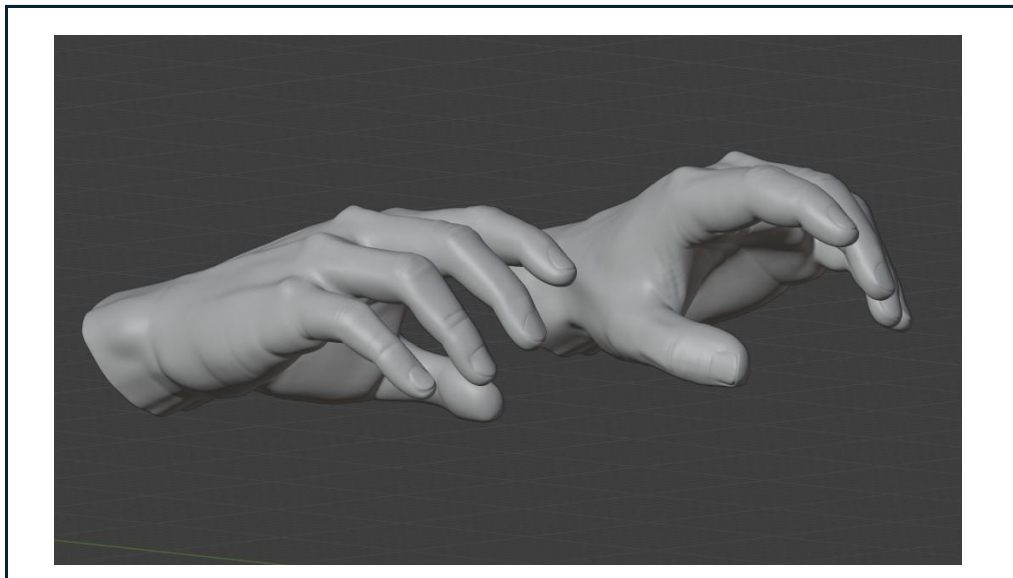


Figura 43

Proceso de creación del modelo 3D en Blender.

**Figura 26**

Modelo 3D optimizado para impresión.



Uno de los mayores retos a superar fue la falta de documentación histórica precisa sobre la forma exacta de las manos originales. La consulta de diversas referencias visuales permitió obtener información para recrear las manos con un alto

grado de certeza. No se encontraron fotografías de la escultura y tampoco su ficha de catalogación original,

Además, fue necesario optimizar el modelo digital para su impresión 3D, asegurando que las piezas impresas se ajusten perfectamente a la escultura original sin requerir modificaciones posteriores.

Materiales utilizados y softwares

- Software Blender: Herramienta de código abierto utilizada para crear la modelización digital tridimensional de las manos.
- Cámara Digital Canon con Lente Macro: Utilizada para capturar imágenes de alta resolución necesarias para el levantamiento fotogramétrico, garantizando la captura precisa de detalles geométricos y ornamentales de la escultura.
- Computadora con Tarjeta Gráfica Avanzada: Procesador Intel Core i7 o superior y tarjeta gráfica NVIDIA RTX, esenciales para manejar grandes volúmenes de datos, ejecutar el software de modelado y procesar imágenes para fotogrametría.
- Impresora 3D (Modelo Cerealita Ender 3 o similar): Máquina utilizada para la fabricación física de las manos faltantes, con capacidad para trabajar con filamentos de alta precisión.
- Trípode con rotación controlada: Permitió capturar imágenes en ángulos uniformes durante el levantamiento fotogramétrico, optimizando la calidad del modelo digital.
- Agisoft Metashape 2.1: Software especializado en la generación de modelos tridimensionales a partir de imágenes mediante fotogrametría, garantizando una nube de puntos (Point clouds) precisa y detallada.
- Simplify3D: Herramienta para la optimización del modelo 3D previo a la impresión, ajustando parámetros como densidad de malla y generación de soportes estructurales.
- Phonoscan: Complemento empleado para manipular y exportar los datos fotogramétricos, asegurando la compatibilidad con otros softwares de diseño.

Resultados

- *Reconstrucción volumétrica:* Las manos faltantes fueron digitalmente reconstruidas con una precisión anatómica y ornamental notable, respetando las proporciones y el estilo original de la escultura. Se recrearon detalles específicos como la postura de los dedos, curvas de la palma y ornamentación superficial.
- *Intervención reversible:* Al emplear medios digitales, la restauración es completamente reversible y no invasiva, respetando los principios de conservación.
- *Registro digital:* Se obtuvo un modelo 3D de alta precisión que documenta tanto la escultura como las piezas faltantes, sirviendo como referencia para futuras restauraciones, investigaciones o intervenciones sin manipular físicamente la obra.

Figura 45

Recreación digital de la escultura: (izq.) Sin las manos. (Der) Con las manos.



5.5. Impresión 3D de las manos faltantes

La impresión 3D es una tecnología de fabricación aditiva que, a partir de un modelo digital, permite crear piezas físicas con precisión y personalización. Este método ha revolucionado múltiples áreas, incluyendo la restauración del patrimonio cultural, gracias a su capacidad para reproducir geometrías complejas y texturas detalladas. En el caso de la escultura policromada de San Lucas Evangelista, la impresión 3D facilitó la reconstrucción de las manos faltantes, devolviendo la unidad estética a la obra y respetando los principios de conservación y reversibilidad.

El objetivo principal fue reconstruir las manos faltantes de la escultura utilizando la impresión 3D, garantizando precisión anatómica, compatibilidad visual y funcionalidad estructural. Además, se buscó minimizar cualquier intervención invasiva en la obra original mediante el uso de tecnología digital avanzada, asegurando la reversibilidad del proceso.

Aplicaciones en la Restauración de la escultura *San Lucas*

1. *Reproducción de piezas perdidas*: La impresión 3D permitió recrear las manos de la escultura con gran fidelidad, respetando los detalles anatómicos y estilísticos originales.

2. *Personalización*: Cada pieza fue diseñada para adaptarse perfectamente a la geometría de la escultura, garantizando coherencia visual y estructural.

3. *Reversibilidad*: Las manos impresas pueden ser removidas sin causar daño a la obra, permitiendo futuras intervenciones si se considera necesario.

4. *Documentación digital*: Los modelos STL utilizados para la impresión se conservaron como un registro detallado de las piezas creadas, facilitando estudios e intervenciones futuras.

5. *Eficiencia*: La impresión 3D permitió producir las piezas en un tiempo reducido y con costos menores en comparación con técnicas tradicionales de restauración.

6. *Proceso de impresión 3D*

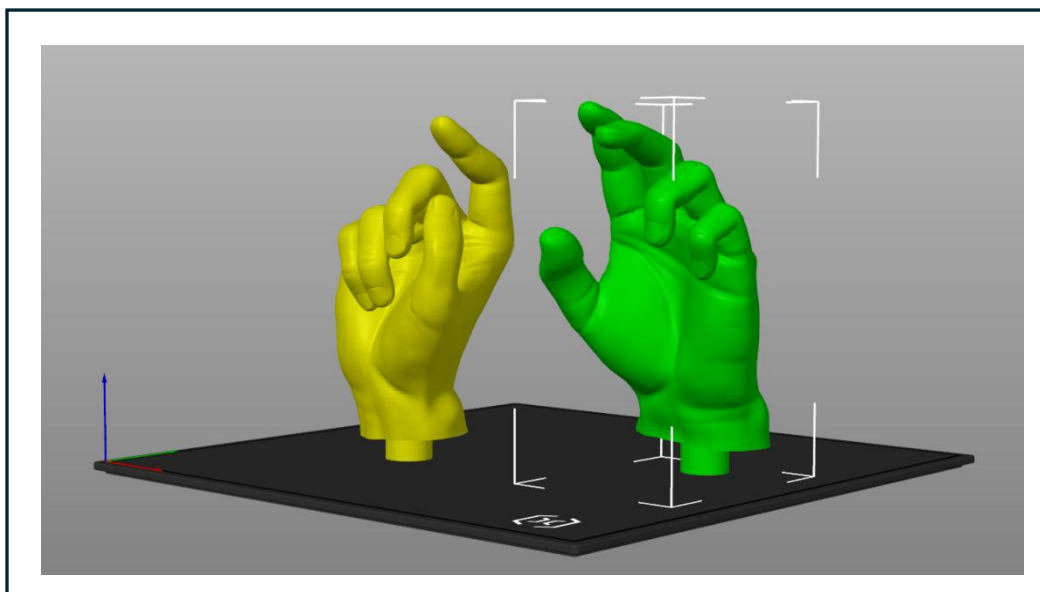
- Se utilizó una impresora 3D equipada con filamento PLA, garantizando precisión dimensional y calidad superficial. El proceso incluyó la impresión de ambas manos y un pre ensamblaje para verificar su ajuste en la escultura.

7. Simulación de Ensamblaje

- Antes de la impresión final, se realizaron simulaciones digitales para comprobar la cohesión estética y estructural de las manos en la escultura, asegurando que encajarán correctamente sin comprometer la estabilidad de la obra.

Figura 46

Captura del archivo STL en el software de impresión.



Materiales y programas informáticos utilizados

- Software Blender: Utilizado para modelar las manos faltantes con precisión tridimensional.
- Software Agisoft Metashape 2.1: Empleado en el levantamiento fotogramétrico para capturar la geometría de la escultura.
- Cámara Digital Canon: Para capturar imágenes de alta resolución necesarias en el proceso de fotogrametría.
- Computadora de Alto Rendimiento: Con tarjeta gráfica avanzada para procesar los modelos digitales y manejar software de diseño y optimización.

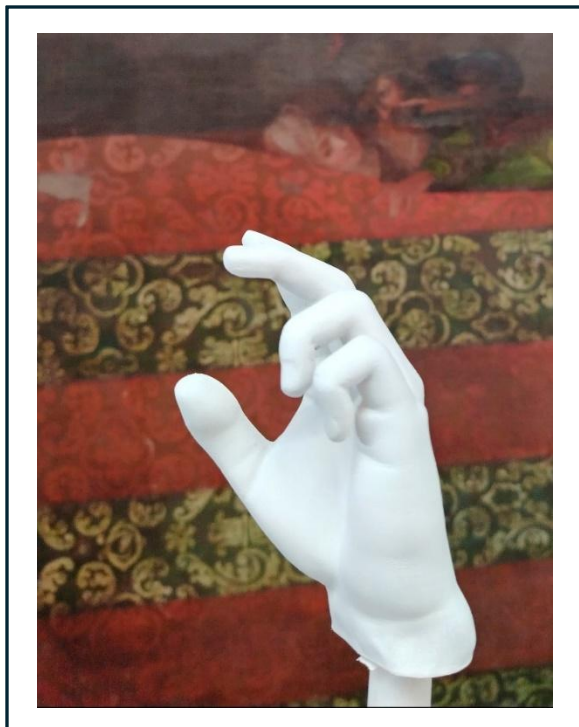
- Impresora 3D (Creality Ender 3): Equipamiento utilizado para producir esencialmente las manos faltantes con filamento PLA.
- Filamento PLA: Material termoplástico utilizado por su durabilidad, facilidad de manejo y compatibilidad con la escultura.
- Herramientas de Postprocesado: Limas, lijas finas y pinturas para ajustar detalles superficiales tras la impresión.

Resultados

- *Reconstrucción volumétrica*: Las manos faltantes se recrearon con precisión anatómica y ornamental, devolviendo a la escultura su unidad estética y simbólica.
- *Intervención reversible*: Las piezas impresas son fácilmente removibles, respetando los principios éticos de conservación.
- *Registro digital completo*: El modelo STL y la documentación del proceso quedaron registrados, sirviendo como referencia para futuras intervenciones.
- *Coherencia estética*: Las piezas impresas se integraron visualmente con la escultura, logrando un acabado que respeta su autenticidad histórica.
- *Eficiencia y ahorro*: El proceso de impresión 3D reduce tiempos y costos en comparación con técnicas tradicionales, facilitando una restauración precisa y económica.

Figura 27

Registro fotográfico de la pieza faltante en forma física (mano izquierda).



Este proceso ejemplifica cómo la tecnología de impresión 3D puede contribuir significativamente a la restauración del patrimonio cultural, combinando innovación, precisión y respeto por los principios de conservación.

5.6. Inserción de las manos y ajuste anatómico

Para completar los procedimientos de conservación y restauración de la escultura materia de estudio se procedió a las siguientes actividades.

La inserción de las manos impresas en 3D en la escultura policromada de *San Lucas* representa una fase importante para la restauración, en la que se busca garantizar tanto la integración estética como la protección estructural de la obra. En este proceso se utilizó técnicas modernas y no invasivas para fijar las piezas, respetando los principios de conservación reversibles y minimizando cualquier intervención que pueda comprometer la integridad del soporte original.

Por tanto, se buscó restaurar la unidad estética y simbólica de la escultura mediante la integración de las manos faltantes garantizando que las nuevas piezas respetaran la estética, la textura y la policromía originales, preservando al mismo tiempo la cohesión estructural y asegurando una intervención reversible que no afectará el soporte de la obra.

Procedimiento

1. Preparación de las piezas faltantes

- *Ajuste inicial y pintado:* Las manos impresas en 3D fueron ajustadas a las proporciones necesarias y sometidas a un proceso de pintado con resina de poliuretano (Spray primer mate acrílico ultra cover 340g blanco). Este paso permitió igualar el color, la textura y el brillo de las piezas con el resto de la escultura.
- *Pruebas de tonalidad:* Se realizaron pruebas cromáticas para garantizar que los colores aplicados coincidan con la paleta pictórica original de la escultura (Óleo mate).

2. Uso de imanes de neodimio para la fijación

Llegado a este punto se presentaba la necesidad de definir el sistema de fijación de las prótesis logradas en las oquedades de los brazos de la escultura.

Matteini y Moles (1989) describen “la adhesión magnética como un caso particular que se muestra con exclusividad en elementos especialmente proyectados para presentar estas características” (pp.274-275).

Así mismo, Rodríguez (2017) demostró con su investigación que el uso de imanes es una solución viable, respetuosa y reversible para la adhesión de prótesis creadas como se realizó en esta investigación.

La evaluación de esta literatura permitió decidir el uso de imanes como medio de fijación de las manos.

Procedimiento

- *Colocación estratégica:* Los imanes de neodimio fueron colocados en puntos ocultos de las uniones, como en los extremos de los brazos y las muñecas, garantizando una fijación firme pero reversible.

- *Selección del material:* Los imanes fueron seleccionados por su alta fuerza magnética y su resistencia a condiciones ambientales, asegurando que las manos se mantuvieran firmemente en su lugar sin comprometer la estabilidad de la obra.

- *Ventajas de la técnica:* Este método evitó el uso de adhesivos permanentes, protegiendo la integridad del soporte original y permitiendo la fácil remoción de las piezas en futuras intervenciones.

3. Ajuste y colocación final de las piezas

- *Alineación visual:* Se verificó la postura de las manos, asegurando que estuvieran perfectamente alineadas con la anatomía y el gesto original de la escultura.

- *Corrección de detalles:* Se realizaron ajustes finos para lograr una integración visualmente coherente y armónica entre las piezas originales y las nuevas.

4. Aplicación del barniz final

- *Propósito del barnizado:* Se aplicó una capa de barniz de resina transparente que protegió la superficie de la escultura y las piezas integradas, realzando los colores y unificando el acabado.

- *Características del barniz:* El barniz utilizado es reversible, no amarillea con el tiempo y se puede retirar sin afectar la policromía subyacente. Además, brindó una capa de protección contra agentes externos como polvo y humedad.

- *Técnica de aplicación:* Utilizando pinceles finos y bruñidores, el barniz fue aplicado de manera uniforme sobre toda la escultura, evitando acumulaciones o diferencias en el acabado.

Resultados

- *Integración exitosa de las prótesis:* Las manos impresas fueron incorporadas sin alterar el soporte original, devolviendo la integridad estética a la escultura.

- *Reversibilidad garantizada:* Gracias al uso de imanes, las manos pueden ser retiradas fácilmente en futuras intervenciones, respetando los principios éticos de conservación.

- *Mejora visual y protección:* El barniz aplicado brindó un acabado uniforme y estético, al mismo tiempo que protegió las superficies contra el desgaste y agentes externos.

Figura 49

Colocación de piezas faltantes y barnizado final.



5.7. Discusión de resultados

El objetivo general de aplicar la digitalización, la modelización digital y la impresión 3D para mejorar la conservación y restauración de la escultura policromada de *San Lucas* se fundamenta en el creciente uso de tecnologías digitales en la conservación del patrimonio cultural. Este enfoque permite realizar intervenciones más precisas y menos invasivas, garantizando la reversibilidad y el respeto por la autenticidad de la obra.

Alcantud et al. (s.f.) demostraron que las tecnologías digitales han encontrado un nuevo nicho de aplicación en la conservación y restauración del patrimonio tangible. A través de la impresión 3D, es posible recrear detalles volumétricos faltantes, asegurando que la restauración no comprometa la estructura original de la escultura y respetando el principio de discernibilidad entre lo original y las prótesis creadas.

La investigación de Gonzáles (2023) subraya que la modelización digital, combinada con la impresión 3D, complementa igualmente los métodos tradicionales. En la restauración de la escultura de *San Lucas* estas tecnologías permitieron una intervención precisa, adaptándose a las necesidades específicas de la obra y logrando una armonización entre técnicas tradicionales y modernas. Este enfoque confirma que la calidad de una restauración depende no solo del método utilizado, sino también del resultado final.

Díaz (2021) refuerza esta perspectiva al destacar que las técnicas de modelado 3D de precisión permiten recuperar información de obras dañadas, incluso a partir de fotografías. Además, introduce la importancia de realizar análisis estructurales mediante herramientas como el análisis de elementos finitos (CEF), que resulta esencial en esculturas sometidas a cargas dinámicas. En el caso de *San Lucas*, este planteamiento permitió garantizar la estabilidad estructural de la obra, incorporando simulaciones digitales como parte del proceso de restauración.

Ávila (2019) realizó una revisión histórica sobre el desarrollo de tecnologías digitales aplicadas al patrimonio cultural, proporcionando un marco teórico clave para afinar las estrategias utilizadas en este estudio. Su investigación destaca la

importancia del uso de escáneres 3D y fotogrametría para documentar y modelar esculturas, elementos que fueron fundamentales para abordar con seguridad las intervenciones en *San Lucas*.

En el mismo sentido, Hernández-Muñoz y Sánchez-Ortiz (2019) demostraron que la impresión 3D puede reproducir con exactitud elementos faltantes, minimizando el uso de agentes químicos y reduciendo los riesgos asociados a las técnicas tradicionales. Este enfoque fue relevante para crear piezas faltantes en San Lucas, asegurando la reversibilidad de las intervenciones mediante el uso de materiales biodegradables como el PLA.

Por su parte, Santos et al. (2018) y Morales (2016) aportan casos similares de aplicación de tecnologías 3D en la restauración de esculturas, aunque en el presente estudio, la falta de registros fotográficos iniciales requirió recurrir a los cánones anatómicos del método de Loomis para reconstruir los detalles faltantes. Esto refuerza la importancia de la conservación de registros iniciales que constituyen información valiosa en caso de pérdida por factores como desastres naturales, antrópicos, entre otros.

A nivel regional, Choque (2023) demostró la viabilidad de las tecnologías digitales en la conservación del patrimonio cultural en Cusco, utilizando herramientas como la fotogrametría y el modelado digital para crear reconstrucciones virtuales necesarias. Su trabajo resalta la importancia de la digitalización como una estrategia eficaz para documentar y preservar elementos culturales, reforzando su aplicabilidad al caso de *San Lucas*.

La investigación valida que la combinación de metodologías digitales y tradicionales no solo facilita una restauración precisa y respetuosa, sino que también promueve el estudio y la difusión del patrimonio cultural. Al integrar tecnologías como la modelización digital y la impresión 3D, se asegura una conservación eficiente y sostenible, alineada con los principios de conservación preventiva y restauración reversible.

Con el primer objetivo específico se buscó dejar expedita la escultura para la posterior inserción de las manos conseguidas como prótesis resultantes de la

digitalización, modelización e impresión 3D. Este se logró mediante la ejecución de técnicas tradicionales.

El logro del objetivo específico dos permitió al desarrollarse, identificar las técnicas y metodologías de modelización digital y fotogrametría más efectivas para capturar con precisión los detalles anatómicos y las dimensiones de la escultura policromada de *San Lucas*. Este paso fue importante en el proceso de restauración digital, ya que la calidad de la captura inicial influyó directamente en la precisión de la recreación de los elementos faltantes. Al seleccionar las técnicas más avanzadas y adecuadas, se garantizó que la restauración digital conserva los rasgos distintivos de la obra original, respetando tanto la integridad estética como estructural.

Díaz (2021) resalta que el modelado 3D de precisión requiere un alto grado de especialización y equipos avanzados como la fotogrametría y el escaneo láser. Estos métodos permiten capturar tanto la geometría como la textura de una escultura, asegurando una representación fiel de sus características visuales y estructurales. En el caso de la escultura de *San Lucas*, estas técnicas resultaron fundamentales para registrar con exactitud sus detalles anatómicos, incluso aquellos más pequeños, reduciendo el riesgo de daño por manipulación física y facilitando una restauración basada en datos precisos.

González (2023) aporta que la fotogrametría se ha consolidado como una técnica no invasiva de alta precisión, capaz de generar modelos tridimensionales detallados a partir de fotografías. Esta metodología es especialmente relevante en la restauración de esculturas policromadas, ya que no solo preserva la autenticidad de la obra, sino que también optimiza los procesos al permitir la captura de datos de alta calidad en un tiempo relativamente corto. En el caso de *San Lucas*, la fotogrametría permitió la generación de modelos digitales que sirvieron de base para la posterior recreación de elementos faltantes.

Además, los aportes de Alcantud et al. (s.f.) son clave al demostrar que las tecnologías 3D permiten una captura precisa del volumen y los detalles de las obras, minimizando el contacto físico y los riesgos asociados. En este contexto, la fotogrametría y el modelado digital no solo garantizaron una documentación fiel de la

escultura de *San Lucas*, sino que también creó un archivo digital que puede servir para futuras restauraciones o análisis estructurales.

A nivel nacional, Lira (2020) refuerza la utilidad de estas herramientas al destacar que la reconstrucción 3D basada en imágenes es una solución práctica y eficiente en contextos con recursos limitados. Aunque no se alcanza la precisión del escaneo láser, la fotogrametría representa una alternativa versátil y accesible, especialmente en proyectos como el de *San Lucas*, donde se buscó combinar la calidad técnica con un enfoque de conservación accesible.

La implementación de estas metodologías no solo asegura la fidelidad de la restauración, sino que también permite un registro exhaustivo del estado actual de la obra. Este registro digital se convierte en una herramienta fundamental para la planificación de futuras intervenciones, promoviendo una conservación preventiva que respeta los principios de autenticidad y reversibilidad.

El uso combinado de fotogrametría y modelización digital en la escultura de *San Lucas* permitió garantizar que la restauración digital sea coherente con los valores históricos y culturales de la obra. Estas tecnologías han demostrado ser esenciales para capturar y preservar el legado patrimonial, abriendo nuevas posibilidades en la conservación y restauración de esculturas históricas.

El tercer objetivo específico tuvo como propósito desarrollar un método de impresión 3D para la restitución de faltantes volumétricos en la escultura policromada de *San Lucas*, respetando tanto la técnica original como los materiales históricos de la obra. Este enfoque aseguró que el proceso de restauración sea no invasivo, reversible y compatible con los principios de conservación del patrimonio cultural. La tecnología de impresión 3D se ha consolidado como una herramienta eficaz para la creación de piezas faltantes con alta precisión, como lo demuestran diversas investigaciones.

Hernández-Muñoz y Sánchez-Ortiz (2019) destacaron la eficacia de la impresión 3D en PLA para reproducir con exactitud elementos faltantes, integrando las piezas con las partes originales de la obra de manera casi imperceptible. Este caso, aplicado a un modelo anatómico de cera del siglo XVIII, subraya la relevancia de

usar materiales reversibles y biodegradables, como los plásticos utilizados en impresión 3D, que permiten desmontar las intervenciones sin comprometer la obra original. Además, esta metodología elimina la necesidad de agentes químicos, reduciendo los riesgos asociados a las técnicas tradicionales de restauración. En el caso de la escultura de *San Lucas*, este enfoque aseguró una restitución fiel que respeta tanto la técnica original como la cohesión estética de la obra.

Por su parte, Gonzáles (2023) resaltó que la combinación de modelización digital e impresión 3D no solo complementa los métodos tradicionales, sino que también ofrece una solución innovadora para abordar desafíos específicos en restauración. Esta tecnología permitió diseñar piezas faltantes adaptadas a las necesidades volumétricas de la escultura de San Lucas, garantizando una integración visual y estructural con las partes existentes.

En el ámbito nacional, Lira (2020) destacó que la reconstrucción 3D basada en imágenes es una técnica práctica y accesible para la creación de elementos faltantes, especialmente en contextos con recursos limitados. Aunque el escaneo 3D sigue siendo el método más preciso, la impresión 3D se presenta como una alternativa versátil y eficiente para restauraciones. En el caso de San Lucas, se aplicó esta tecnología para reconstruir detalles volumétricos como las manos de la escultura, asegurando que las nuevas piezas respetaran la técnica artística original.

Alcantud et al. (s.f.) demostraron que las tecnologías de impresión 3D no solo son efectivas para reproducir volumetrías faltantes, sino que también reducen el contacto físico directo con la obra, minimizando riesgos de daño. En este contexto, el uso de herramientas digitales permitió optimizar la restauración de *San Lucas* al evitar manipulaciones innecesarias, garantizando así la conservación de los valores históricos y culturales de la escultura.

Este objetivo resalta la importancia de la tecnología de impresión 3D como una herramienta que armoniza con los principios contemporáneos de conservación: la reversibilidad, la compatibilidad y la no invasibilidad. Al aplicar estos métodos, no solo se logra una restauración precisa y respetuosa, sino que también se establece un nuevo estándar para abordar futuras intervenciones en esculturas patrimoniales.

Santos et al. (2018) subrayan la importancia de combinar tecnologías 3D con procedimientos tradicionales de restauración para lograr resultados óptimos. En el caso de la escultura de San Lucas, esta combinación permitió asegurar la integridad visual y estructural de la obra. Por ejemplo, la consolidación de la capa pictórica, esencial para evitar el desprendimiento de pigmentos durante el proceso de restauración, se realizó utilizando técnicas compatibles con la digitalización 3D. Este enfoque no solo preserva la estética de la escultura, sino que también minimiza la manipulación física, reduciendo los riesgos de daño.

A nivel regional, Choque (2023) destacó el potencial de las tecnologías digitales para la conservación del patrimonio cultural, particularmente en el contexto cusqueño. Su trabajo con la digitalización del Parque Arqueológico de Saqsayhuamán demuestra cómo estas herramientas pueden ser adaptadas para mejorar el monitoreo y la gestión de datos en la conservación de esculturas como la de *San Lucas*. Esta digitalización, además de preservar los valores históricos y culturales de la obra, promueve su estudio y difusión, alineándose con los principios contemporáneos de conservación preventiva.

Finalmente, con esta investigación no solo se buscó implementar estrategias efectivas para restaurar la escultura de *San Lucas*, sino también motivar a la comunidad científica y profesional a explorar las aplicaciones de las tecnologías digitales en la conservación patrimonial. La integración de simulaciones, pruebas de materiales y metodologías digitales con técnicas tradicionales permitirá avanzar hacia una práctica de conservación y restauración más científica y menos empírica, menos técnica y más tecnológica. Este enfoque asegura la prolongación de la vida útil de obras como la de *San Lucas*, protegiendo su legado para futuras generaciones y promoviendo una mayor apreciación del patrimonio cultural y promueve la capacitación continua de profesionales comprometidos con la salvaguarda del patrimonio cultural, asegurándoles también una mejor inserción laboral ante la demanda de desarrollo de competencias acordes con el desarrollo científico mundial.

CONCLUSIONES

Conclusión objetivo general: Se logró aplicar la modelización digital e impresión 3D de faltantes volumétricos para mejorar la conservación y restauración de la escultura policromada de San Lucas.

La utilización de la digitalización modelización y la impresión 3D para la restitución de faltantes volumétricos en la escultura de San Lucas fue una estrategia innovadora y efectiva para la conservación del patrimonio cultural. Esta técnica, al ser no invasiva y reversible, respeta la integridad histórica y estética de la obra. La tecnología digital no solo ofrece precisión en la recreación de piezas faltantes, sino que también permite un control exhaustivo sobre los procesos de restauración, garantizando la estabilidad de la escultura y su preservación a largo plazo.

Conclusión objetivo específico 1: Se implementaron estrategias y procedimientos efectivos para la conservación y restauración de la escultura policromada de San Lucas. Los métodos aplicados incluyen una combinación de técnicas de consolidación estructural, reintegración cromática y modelización digital, asegurando que todas las intervenciones respetarán los principios de reversibilidad y compatibilidad con los materiales originales. La utilización de tecnologías como la impresión 3D para la restitución de piezas faltantes, junto con la consolidación de capas pictóricas, garantizó la preservación a largo plazo de la escultura, restaurando su estabilidad física y mejorando su presentación estética sin comprometer su autenticidad histórica.

Conclusión objetivo específico 2: Se identificaron las técnicas y metodologías de modelización digital y fotogrametría más efectivas para capturar con precisión los detalles anatómicos y las dimensiones de la escultura policromada de San Lucas. El uso de fotogrametría permitió obtener una documentación precisa y detallada de la escultura, mediante la captura de múltiples imágenes desde diferentes ángulos y su posterior procesamiento en software especializado como Agisoft Metashape 2.1. La creación de una nube de puntos y su transformación en mallas poligonales garantizó la reconstrucción precisa de la geometría tridimensional de la obra. Esta técnica no solo permite una representación fiel de las proporciones y

texturas de la escultura, sino que también facilita futuras intervenciones de restauración y conservación.

Conclusión objetivo específico 3: Se desarrolló con éxito un método de impresión 3D para la restitución de faltantes volumétricos en la escultura policromada de San Lucas, respetando tanto las técnicas originales como los materiales históricos de la obra. El proceso incluyó el uso de modelado 3D basado en la información obtenida mediante fotogrametría, lo que permitió generar un modelo digital altamente detallado de las partes faltantes, como las manos. La optimización de estos modelos para su impresión tridimensional y el uso de materiales compatibles como el PLA aseguraron la coherencia estética y estructural con la escultura original, permitiendo una restitución no invasiva y completamente reversible.

RECOMENDACIONES

Recomendación general: Para continuar mejorando la conservación y restauración de esculturas policromadas mediante digitalización, modelización digital e impresión 3D, se recomienda desarrollar investigaciones sobre la aplicación de nuevos materiales más sostenibles y compatibles con las técnicas de restauración tradicionales. También se sugiere realizar capacitaciones continuas a los restauradores en el uso de tecnologías digitales para ampliar su conocimiento en técnicas no invasivas. La implementación de sistemas de monitoreo digital para el estado de conservación de las obras también podría prevenir futuras intervenciones más invasivas e insertar al mundo de las nacientes tecnologías a los profesionales interesados.

Recomendación específica 1: En cuanto a la implementación de estrategias y procedimientos para la conservación y restauración, se recomienda la creación de protocolos específicos que integren tanto técnicas tradicionales como digitales, garantizando que la reversibilidad y la compatibilidad de los materiales sean siempre prioridades. Además, se sugiere realizar monitoreos periódicos sobre la estabilidad de las intervenciones realizadas, particularmente en zonas restauradas con modelización e impresión 3D, para asegurarse de que no haya deterioros adicionales. Asimismo, la colaboración interdisciplinaria con expertos en materiales sería valiosa para innovar en nuevas estrategias de conservación.

Recomendación específica 2: En relación a la identificación de las técnicas de modelización digital y fotogrametría más efectivas, se recomienda continuar explorando herramientas avanzadas de software de fotogrametría que permitan una captura más precisa y rápida. Se sugiere la integración de escáneres láser 3D como complemento para obtener una mayor resolución en detalles difíciles de capturar mediante fotogrametría. Además, se podría crear una base de datos de modelos 3D de esculturas religiosas para documentar el estado actual de otras piezas y facilitar comparaciones en futuras intervenciones.

Recomendación específica 3: Para la mejora del método de impresión 3D en la restitución de faltantes volumétricos, se recomienda investigar el uso de nuevos materiales para impresión que sean más resistentes y compatibles con los materiales históricos, como resinas más ligeras y de alta durabilidad. Además, se podrían crear réplicas de las piezas faltantes mediante técnicas híbridas que combinan impresión 3D con acabados manuales, lo cual garantizaría una mayor similitud estética. También sería útil estandarizar las fases de impresión para facilitar la reproducción en otros contextos patrimoniales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agisoft. (s.f.). *Descubra la fotogrametría inteligente con Metashape*. agisoft.com:
<https://www.agisoft.com/>
- Agisoft. (s.f.). *Metashape2.1 Photogrammetry + Lidar*. Agisoft.
https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf
- Alcantud, A. (05 de Octubre de 2018). Optimización y aplicación de prótesis 3D mediante tecnologías físico-digitales como solución para la restauración de faltantes en escultura. *Universidad Nacional de San Martín*, 5(5), 218-233.
<https://riunet.upv.es/handle/10251/121825>
- Arias, J. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Perú: Enfoques Consulting Eirl.
- Arte restauración. (2022). *Conservación y Restauración de obras de arte*. <https://arte-restauracion.es/conservar-obras-de-arte-correctamente-recomendaciones/>
- Ávila, M. (2019). Aplicación de la tecnología 3D a las técnicas de documentación, conservación y restauración de bienes culturales. [*Tesis posgrado*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España].
<https://docta.ucm.es/entities/publication/b1185ce2-b588-451f-ba98-d471d2395ec8>
- Balcázar, P., González, N., Gurrola, G., & Moysén, A. (2013). *Investigación cualitativa*. Mexico: Universidad Autónoma del Estado de México.
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/21589/Investigaci%C3%B3n%20cualitativa.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Blanch, E., & Espinel, J. (2022). Modelado digital e impresión 3D de relieves y las posibilidades de implementación en la formación de artistas. *Arte, Individuo y Sociedad*, 34(4), 1603-1620. <https://doi.org/https://doi.org/10.5209/aris.82655>
- Cabrera, R. (2020). *Rumbos atrevidos, pero necesarios: conversaciones entre innovación, arte y creatividad*. GKA Ediciones.
https://www.academia.edu/43942960/Posibles_aplicaciones_de_la_digitalizaci%C3%B3n_3D_en_la_conservaci%C3%B3n_y_restauraci%C3%B3n_de_colecciones_cient%C3%ADficas_modelos_anat%C3%B3micos_de_cera

- Calvo, A. (1997). *Conservación y Restauración- Materiales, técnicas y procedimientos. De la A ala Z*. Ediciones del Serbal.
- Carranza, L. (2020). Reconstrucción 3d de piezas arqueológicas a partir de imágenes: una revisión de la literatura. [Tesis licenciatura,. Pontifica Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.]
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/17377>
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Choque , J. (2023). Digitalización del parque arqueológico de Saqsayhuamán usando tecnología de realidad virtual, Cusco 2023. [*Tesis licenciatura*. Universidad Andina del Cusco, Cusco , Perú].
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI_76a2f7deea43f5b95f2d440caf7c93d9
- Colomo, C., Pérez, J., Gómez, J., & Rosales, F. (2016). Metodología y aplicacion práctica para la digitalización de patrimonio cofrade mediante la fusion de datos de láser escaner y fotogramétricos. *ARQUEOLÓGICA 2.0: 8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, 1(1)*, 110-117.
<https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/85570/3517-11504-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Comité Internacional para la Documentación del Consejo Internacional de Museos. (ICOM), s.f.) *Guidelines for Museum Object Information: The CIDOC Information Categories*. <https://icom.org>
- Cordero, A. (2015). Tipificación de las técnicas de policromía de retablos novohispanos. *Conserva(20)*, 55-70.
https://www.cncr.gob.cl/sites/www.cncr.gob.cl/files/2023-01/Retablos_Novohispanos.pdf
- Díaz, M. (2021). Modelado 3D de precisión en procesos de digitalización de escultura construida. *AusArt Journal for Research in Art*, 9(2), 113-125.
<https://ojs.ehu.eus/index.php/ausart/article/view/23077/20673>

- García, R., & Ruiz de Arcaute, E. (2001). La escultura policromada. Criterios de intervención y técnicas de estudio. *Arbor*, 169(667-668), 645-676.
<https://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/904/911>
- González, J. (2023). Nuevas tecnologías aplicadas a la imaginería religiosa. [Tesis Licenciatura.. Bellas Artes - Universidad de Sevilla, Sevilla - España].
<https://idus.us.es/handle/11441/157516>
- González, J. (1995). Metodología de estudio y criterios de intervención en escultura policromada en el IAPH (II). *PH:Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 3(12), 44-49.
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/50799/Metodolog%C3%ADa%20de%20estudio%20y%20criterios%20de%20intervenci%C3%B3n%20en%20escultura%20policromada%20en%20el%20IAPH%20%28II%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hernández-Muñoz, O., & Sánchez-Ortiz, A. (2019). Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII. *Conservador Patrimonio*, 30, 59-72.
<https://doi.org/https://doi.org/10.14568/cp2018003>
- Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico [IAPH]. (2017). *La restauración de la escultura policromada*. Sevilla: IAPH.
https://www.iaph.es/export/sites/default/galerias/didactica/documentos/exposicion_la_restauracion_de_la_escultura_policromada.pdf
- Lira, A. (2020). Reconstrucción 3D usando un enfoque basado en imágenes de piezas arqueológicas incompletas: una revisión literaria. [Tesis licenciatura., Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú].
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16986>
- Matteini, M., & Moles, A. (1989). *La química en la restauración: los materiales del arte pictórico*. España: Editorial Nerea.
https://books.google.com.pe/books?id=D7mMueTik38C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (2017). *Criterios de intervención*. Secretaría General Técnica. https://www.researchgate.net/profile/Laura-Ceballos-Enriquez/publication/320766070_The_Coremans_project_Conservation_Criteria_of_polychrome_Sculpture/links/59f9f2cda6fdcc9a1625f02d/The-Coremans-project-Conservation-Criteria-of-polychrome-Sculpture.pdf
- Morales, V. (2016). Digitalización de una imagen de la Virgen del Carmen y usos del 3D en la Conservación y Restauración. [tesis pregrado]. Universidad de la Laguna, Santa Cruz de Tenerife - España, España.
<https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/3451>
- Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía. (2020). *Conservación de arte Contemporáneo 21ª jornada*. Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía.
https://www.museoreinasofia.es/sites/default/files/conservacion_arte_contemporaneo_21.pdf
- Niquet, N., & Mas-Barberà, X. (2018). El Registro 3D como medio para el análisis y difusión del patrimonio escultórico. El caso de la escultura en cera del Écorché. *Ge-conservacion*(13), 5-16. <https://geiic.com/ojs/index.php/revista/article/view/551/830>
- Pachón, Y. (2018). *Caracterización técnica de la escultura policromada en la nueva granada*. Colombia: U. Externado de Colombia.
https://books.google.es/books?id=kOJaDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Pajarón, F. (2008). *La iconografía cristiana: los cuatro evangelistas*.
fuentedecantos.net:
https://www.fuentedecantos.net/hermosa/revista_2008/articulos/la_iconografia.htm
- Peña, D. (2022). Estudio de manufactura y criterios de conservación-restauración de los ojos postizos en esculturas de madera policromada: propuesta para elaboración de prótesis oculares a partir de resinas sintéticas como alternativa de reposición. [Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro,

- Santiago de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/3780/1/RI006803.pdf>
- Rodríguez, M. (2017). Análisis de sistemas magnéticos aplicados a uniones de fragmentos. [*Tesis doctorado*, Universitat Politècnica de València]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/90522/RODR%CDGUEZ%20-%20An%Elisis%20de%20Sistemas%20Magn%E9ticos%20Aplicados%20a%20Uniones%20de%20Fragmentos..pdf;jsessionid=438CDFE366D1DECC7D52A9F44AD7080B?sequence=1>
- Rodríguez, M. (2019). *El Perú en el sistema internacional del patrimonio cultural y natural de la humanidad*. USMP. https://catedraunesco.usmp.edu.pe/pdf/sistema_internacional_del_patrimonio.pdf
- Romero, H., Real, J., Ordoñez, J., Gavino, G., & Saldarriaga, G. (2021). *Metodología de la investigación*. Quito: Edicumbre Editorial Corporativa.
- Sánchez, P., Melendreras, R., & Marín, M. (2020). Flujo de trabajo para la digitalización 3d mediante fotogrametría automatizada de las tallas de madera policromada del Santísimo Cristo de la Sangre y su ángel. *Erph: Revista electrónica De Patrimonio Histórico*(27), 52-83. <https://revistaseug.ugr.es/index.php/erph/article/view/17901/15667>
- Santos, E. (2015). Pintura sobre tabla y escultura policromada: problemática de las obras con soporte de madera durante el proceso de renovación del Museo Arqueológico Nacional. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*(33), 171-183. <https://www.man.es/man/dam/jcr:446bca80-cfa6-45ca-a231-75523b433b9c/2015-33-santos.pdf>
- Santos, S., Zurdo, L., Ávila, M., Arriba, P., Bonnin, P., Montaña, G., Tena, S., Terrón, P., Blanch, E., & Gil, R. (2018). Aplicación de la tecnología 3D en la restauración del conjunto escultórico Los Portadores de la Antorcha, de la Ciudad Universitaria de Madrid. *Arte, Individuo y Sociedad*, 30(1), 61-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.5209/ARIS.55743>

- Viana, S. (2017). *Informe de conservación y restauración. La degollación de los inocentes E 126 personaje masculino*. Madrid: Academia Colecciones.
<https://www.academiacolectaciones.com/esculturas/informes/E-089.pdf>
- Zamora, H. (2014). La conservación y restauración de la Gipsoteca de la Escuela de Artes Plásticas de la Universidad de Costa Rica. *Revista Humanidades*, 4(1), 1-21. <https://www.redalyc.org/pdf/4980/498050307003.pdf>

APÉNDICE A

MATRIZ APRIORÍSTICA DE CATEGORÍAS Y SUBCATEGORÍAS

Pregunta secundaria	Objetivo específico	Categoría	Definición conceptual	Subcategorías	Ejes de análisis	Fuente de información	Técnica de recolección de información	Instrumento
¿Qué técnicas y metodologías de modelización digital y fotogrametría son más efectivas para capturar con precisión los detalles anatómicos y las dimensiones de la escultura policromada de San Lucas?	Identificar las técnicas y metodologías de modelización digital y fotogrametría más efectivas para capturar con precisión los detalles anatómicos y las dimensiones de la escultura policromada de San Lucas.	Técnicas y metodologías de modelización digital y fotogrametría	Métodos avanzados para la captura tridimensional precisa de detalles anatómicos y dimensionales de la escultura policromada de San Lucas.	Técnicas de escaneo 3D, Métodos de fotogrametría	Comparación de precisión y aplicabilidad de técnicas específicas.	Documentación técnica de expertos, literatura especializada	Revisión de estudios comparativos, análisis de casos	Blender, Agisoft Metashape 2.1
¿Cuáles son las estrategias y procedimientos más efectivos para la conservación y restauración de la escultura policromada de San Lucas?	Implementar estrategias y procedimientos más efectivos para la conservación y restauración de la escultura policromada de San Lucas.	Conservación y restauración de patrimonio artístico	Métodos y protocolos efectivos para preservar y restaurar la escultura policromada de San Lucas.	Estrategias de conservación, Procedimientos de restauración	Análisis de viabilidad y eficacia de las estrategias propuestas.	Documentación histórica, expertos en conservación	Revisión de mejores prácticas, estudios de caso	Guía de observación para estructurar el proceso de estudio directo de la escultura.
¿Cómo puede la impresión 3D de faltantes volumétricos	Desarrollar un método de impresión 3D para la	Restauración y técnicas de impresión 3D	Métodos para restaurar los detalles anatómicos	Métodos de impresión 3D, Conservación	Evaluación de la fidelidad y seguridad de	Registros de conservación, literatura especializada	Estudios de casos, revisiones de	Impresoras 3D con capacidad de alta

restaurar con precisión los detalles anatómicos de la escultura policromada de San Lucas, respetando la técnica original y los materiales históricos de la obra?	restitución de faltantes volumétricos en la escultura policromada de San Lucas, respetando la técnica original y los materiales históricos de la obra.		utilizando impresión 3D, manteniendo la integridad técnica y material de la obra histórica.	de patrimonio histórico	los materiales utilizados en la restauración.		técnicas de restauración	resolución y materiales adecuados.
--	--	--	---	-------------------------	---	--	--------------------------	------------------------------------

APÉNDICE B

ACTA DE ENTREGA DE LA ESCULTURA INTERVENIDA



UNIVERSIDAD NACIONAL
DIEGO QUISPE TITO

Año del Bicentenario de la consolidación de nuestra independencia y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho

ACTA DE ENTREGA Y RECEPCIÓN DE ESCULTURA POLICROMADA EN BULTO "SAN LUCAS" (NÚMERO DE INVENTARIO 13)

En la ciudad del Cusco, a las once horas del día uno del mes de marzo del año dos mil veinticuatro, se dio inicio al acto de entrega y recepción de la ESCULTURA POLICROMADA SAN LUCAS (talla en bulto, 1.20 X 50.8 X 40.5 cm y número de inventario 13) de propiedad del Museo y Catacumbas del Convento de San Francisco del Cusco, cito en la Plaza San Francisco de esta ciudad. Obra de arte que ha sido intervenida para su conservación y restauración por el señor bachiller CROA YORDANY MIJAEI DÍAZ QUISPE.-----

Dando conformidad a la intervención, recepcionó la escultura el Reverendo Padre WILDER MEDARDO PORRAS IBAÑEZ, OFM, como representante legal del Museo y Catacumbas del Convento de San Francisco del Cusco en su condición de director del mismo.-----

Finalizada la entrega y recepción y dando fe del acto, firman el tesista señor YORDANY MIJAEI DÍAZ QUISPE, el Reverendo Padre WILDER MEDARDO PORRAS IBAÑEZ, OFM, y la asesora Mgt. TERESA DE JESÚS DÍAZ VERA.


Yordany Mijael Díaz Quispe
Bach. CROA


Rvdo Padre Wilder Medardo
Porras Ibañez OFM
Director Museo


Mgt. Teresa de Jesús Díaz
Vera
Asesora Metodológica

Cc.

Coordinación CROA
Interesado

ANEXO I

**PERMISO DE INTERVENCIÓN OTORGADO POR EL DIRECTOR DEL
MUSEO Y CATACUMBAS DE SAN FRANCISCO DE ASÍS DEL CUSCO**



*Museo y Catacumbas del Convento de San Francisco de
Asís de la Ciudad del Cusco*



AUTORIZACIÓN

A: Yordany Mijael Diaz Quispe
Estudiante de la Escuela Profesional de Conservación y Restauración de Obras de Arte de la Universidad Nacional Diego Quispe Tito del Cusco.

DE: Fr. Miguel Águila Cruz O.F.M.
Director del Museo y Catacumbas del Convento de San Francisco de Asís de la Ciudad del Cusco

ASUNTO: **Autorizo el inicio de trabajo de investigación e intervención de la escultura *San Lucas*, perteneciente al Convento Museo Catacumbas de San Francisco Asís del Cusco.**

FECHA: Cusco, 28 de junio del 2020

En respuesta a su solicitud, se le asigna una escultura, talla en madera policromada *San Lucas*, para efectos de ser intervenido en el taller de Conservación del Convento Museo Catacumbas de San Francisco de Asís del Cusco y contará con la asesoría técnica de la Magister Myriam Leiva Alvarez docente de la UNDQT.

Se autoriza que la información obtenida durante los procesos de intervención pueda ser utilizada en el trabajo de investigación de tesis, documento que cumple con los requisitos exigidos en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de arte, para optar al Título Profesional de LICENCIADO EN CONSERVACIÓN Y RESTAURACIÓN DE OBRAS DE ARTE.

Con el deseo de que esta información sea de utilidad para los fines convenientes propios de todo trabajo de investigación.

Atentamente,



Fr. Miguel Águila Cruz F.O.M.
Director del Museo