



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Análisis no destructivo mediante métodos
analíticos para el estudio de pigmentos en
pinturas del periodo virreinal en México**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

FISICA

P R E S E N T A :

XARENI GALINDO HERNADEZ



**DIRECTOR DE TESIS:
Dr. JOSE LUIS RUVALCABA SIL**

2017

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*“..En medio del odio,
descubrí que había, dentro de mí, un amor invencible.
En medio de las lágrimas,
descubrí que había, dentro de mí, una sonrisa invencible.
En medio del caos,
descubrí que había, dentro de mí, una calma invencible.
Me di cuenta, a pesar de todo, que...
En medio del invierno, había dentro de mí un verano invencible.
Y eso me hace feliz.
Porque no importa lo duro que el mundo empuje contra mí;
dentro de mí hay algo más fuerte,
algo mejor, empujando de vuelta.”*

Albert Camus

AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS

Se agradece el apoyo del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural LANCIC sede Instituto de Física UNAM, a través de los proyectos CONACYT LN271614, y LN279740; así como el apoyo de los proyectos PAPIIT UNAM IN110416 y CONACYT CB 239609, que enmarcan esta investigación. Al por el Dr. José Luis Ruvalcaba Sil, investigador del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La tabla de pigmentos de referencia del siglo XVI fue desarrollada dentro del marco del proyecto PAPIIT UNAM IN402007.

A los técnicos del IFUNAM, Dulce María Aguilar por su apoyo en el estudio de imagen infrarroja de falso color, y a Francisco Jaimes Beristain por su apoyo en los equipos de cómputo del LANCIC.

Gracias al apoyo de los proyectos: CONACYT CB2012 179601: Historias de pincel. Metodología interdisciplinaria para el estudio de la técnica pictórica, materiales y conservación en la pintura de la Nueva España. Coordinado por la Dra. Elisa Vargaslugo Rangel investigadora del Instituto de Investigaciones en

A mis sinodales, Dr. José Luis Ruvalcaba Sil, Dr. Oscar Genaro De Lucio Morales, Dra. Beatriz Elizabeth Fuentes Madariaga, Dra. Elsa Arroyo Lemus y Dr. José Manuel Saniger Blesa por tomarse el tiempo de leer este trabajo y hacer las correcciones pertinentes

Además, agradezco a Mtro. Alejandro Mitrani, Mtra. Mayra D. Manrique, Q. Griselda Pérez, Mtra. Valentina Aguilar, Dr. Pieterjan Claes por su colaboración en la toma de los datos utilizados para la realización de esta tesis. También, al Lic. Luis Novoa Sandoval e Isaac Rangel por sus asesorías de Photoshop las cuales siempre me fueron muy útiles.

AGRADECIMIENTOS

Debo agradecer a la vida por darme dos papás y dos mamás. Mi mamá y papá, Mary y Taide y mis abuelos, Mamá Emma y Papá Arnulfo. Mis dos papás me dieron el ejemplo más importante de la vida: no importa quien seas o de donde vengas, si eres rico o pobre, listo o tonto...lo que importa es a dónde quieres ir y lo que harás para llegar ahí. Gracias por enseñarme que todos los sueños son posibles si así lo deseas. Son y serán siempre el mejor ejemplo de superación y esfuerzo que alguien pueda tener. A mis dos mamás, gracias por ser el sostén de una familia maravillosa, por darme su amor y comprensión. Gracias por pensar en mí y por preocuparse por mi futuro siempre.

A mi hermana Chunen (Xihuahnel). Por ser un ejemplo de dedicación y esfuerzo. Gracias por estar ahí para mí aun cuando existen diferencias que nos separan y por ayudarme a alcanzar mi más ambicioso sueño. Gracias por quererme y apoyarme sin importar las circunstancias. Yo también estaré ahí para ti siempre, nunca lo olvides.

A mis amigas Pausy (Paola), Gris y Mayra. Gracias por ayudarme a sobrellevar los momentos difíciles, por no dejarme caer, por ser mi roca y por no dejar que perdiera de vista la luz al final del túnel. Les estaré eternamente agradecida. A Mitrani e Isaac, por su especial colaboración en la realización de esta tesis, porque aun estando ocupados en sus propios proyectos siempre tuvieron tiempo para ayudarme en lo que pudiera necesitar. A Vale, por tenerme infinita paciencia cuando me enseñó AXIL, para explícame dudas y estar dispuesta a ayudarme cuando lo necesitaba.

A mis amig@s de toda la vida, Luz, Mariel y Matuz. Porque a pesar del tiempo y la distancia siempre nos encontramos con una sonrisa y nos seguimos llevando igual de bien que antes. Espero que nuestra amistad dure toda la vida.

A la Maestra Enedina Jiménez Luciano, su paciencia y gusto por enseñar me mostro el camino de la ciencia y me hizo ver la física con otros ojos. A los maestros Ana Gloria Bastida y Pablo Puente por darme 10 años felices junto a Niños Cantores de Morelos y su música, gracias por enseñarme que con disciplina y trabajo en equipo se llega muy lejos. A mi asesor de tesis José Luis Ruvalcaba Sil por permitirme ser parte de este proyecto tan increíble llamado LANCIC

Yo no sería yo sin su amor y ejemplo. Los amo!

A L.E., hay personas que son el viaje, no el destino, gracias por ser el viaje más increíble de todos. Seguirás siendo mi estrella favorita, así hayas decidido iluminar otros cielos, otras noches, otras vidas

CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVO DEL ESTUDIO	4
LOS OBJETIVOS PRINCIPALES DE PROYECTO	4
OBJETIVOS PARTICULARES.....	4
HIPÓTESIS.....	5
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS FÍSICOS	6
RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	6
<i>Dualidad Onda- Partícula</i>	6
<i>Tipos de Radiación electromagnética</i>	7
ÁTOMOS Y MOLÉCULAS	8
<i>Estructura interna (10)</i>	8
<i>Números Cuánticos (10)</i>	9
<i>Niveles de Energía Atómicos (10)</i>	10
<i>Moléculas</i>	12
<i>Estructura molecular (15)</i>	12
<i>Enlaces químicos (15)</i>	13
<i>Teoría de enlaces (16)</i>	13
<i>Momento dipolar</i>	14
INTERACCIÓN CON LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS CON LA MATERIA	14
<i>Reflexión y Refracción (8)</i>	15
<i>Absorción (19) (20)</i>	16
<i>Emisión (19) (20)</i>	17
<i>Efecto Fotoeléctrico (10)</i>	17
<i>Efecto Compton (10)</i>	18
<i>Producción de Pares</i>	19
<i>Dispersión (27)</i>	20
<i>Atenuación (29)</i>	21
<i>Excitación atómica (10)</i>	23
CAPÍTULO 2: TÉCNICAS ANALÍTICAS	25
TÉCNICAS DE IMAGEN	26
INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN INFRARROJA CON LA MATERIA (36)	27
INTERACCIÓN DE LA LUZ VISIBLE CON LA MATERIA	28
IMAGEN INFRARROJA	29
IMAGEN DE LUZ VISIBLE (40) (41).....	30

IMAGEN DE FALSO COLOR	32
TÉCNICAS DE ESPECTROSCOPIA ATÓMICA	34
ESPECTROSCOPIA ATÓMICA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS –X.....	35
<i>Propiedades de los rayos-X (43)</i>	35
<i>Generación de rayos X (43) (44)</i>	35
<i>Espectros de rayos X (43) (44)</i>	37
<i>Descripción del fenómeno</i>	39
CAPÍTULO 3: OBJETO DE ESTUDIO	40
MARCO HISTÓRICO	41
<i>Breve historia del convento de San Miguel Arcángel de Huejotzingo, Puebla (50)</i>	41
MARCO ARTÍSTICO	44
<i>Los pigmentos utilizados en la Nueva España</i>	44
<i>El arte flamenco y su presencia en la Nueva España (1)</i>	49
VIDA Y OBRA DE LOS PINTORES	51
<i>Simón Pereyys</i>	51
<i>Andrés de Concha</i>	52
<i>Martín de Vos</i>	54
PINTURAS Y ESCULTURAS DE LA CALLE IZQUIERDA DEL RETABLO MAYOR DEL TEMPLO DEL EX -CONVENTO DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO, PUEBLA.	56
SUSANA Y LOS VIEJOS DE MARTÍN DE VOS.....	57
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN	58
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	58
INSTRUMENTACIÓN Y CONDICIONES DE ESTUDIO	59
<i>Técnicas de imagen</i>	59
<i>Análisis de Fluorescencia de Rayos-X</i>	60
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	64
TÉCNICAS DE IMAGEN	65
PINTURAS	67
<i>Susana y los Viejos</i>	67
<i>María Magdalena</i>	69
<i>La Adoración de los Pastores</i>	72
<i>La Circuncisión</i>	74
<i>La Resurrección</i>	76
ESCULTURAS	78
<i>San Gregorio</i>	78
<i>San Agustín</i>	81
TÉCNICAS DE ESPECTROSCOPIA ATÓMICA.....	84
FLUORESCENCIA DE RAYOS-X	84
<i>Susana y los Viejos</i>	88
<i>María Magdalena</i>	92
<i>La Adoración de Los Pastores</i>	97
<i>La Circuncisión</i>	99
<i>La Resurrección</i>	101
<i>San Gregorio</i>	103
<i>San Agustín</i>	105

RESUMEN DE LOS PIGMENTOS OBTENIDOS MEDIANTE XRF.....	108
COMPARACIÓN DE LOS RESULTADO DE IRFC Y XRF.....	109
ANÁLISIS DEL USO Y COMPOSICIÓN DEL ESMALTE	112
ANÁLISIS DEL USO Y COMPOSICIÓN DEL ESMALTE PARA LA PINTURA DE SUSANA Y LOS VIEJOS	114
ANÁLISIS DEL USO DEL ESMALTE PARA LAS PINTURAS PERTENECIENTES AL RETABLO MAYOR DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL: <i>MARÍA MAGDALENA, LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES, LA CIRCUNCISIÓN; LA RESURRECCIÓN, HUEJOTZINGO, PUEBLA</i>	117
ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DEL ESMALTE PARA LAS PINTURAS PERTENECIENTES AL RETABLO MAYOR DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL: <i>MARÍA MAGDALENA, LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES, LA CIRCUNCISIÓN; LA RESURRECCIÓN, HUEJOTZINGO, PUEBLA</i>	122
<i>María Magdalena</i>	122
<i>La Adoración de los Pastores</i>	124
<i>La Circuncisión</i>	126
<i>La Resurrección</i>	127
ESTUDIO DE PIGMENTOS ROJOS Y LACAS ROJAS EN LAS OBRAS ESTUDIADAS.....	131
<i>Susana y los Viejos</i>	132
<i>Pinturas Pertencientes al Retablo Mayor de la Iglesia de San Miguel Arcángel: María Magdalena, La Adoración de los Pastores, La Circuncisión; La Resurrección, Huejotzingo, Puebla</i>	133
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y PROYECCIONES FUTURAS.....	137
CONCLUSIONES.....	137
PROYECCIONES A FUTURO.....	140
APENDICES.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
APÉNDICE 1: <i>SUSANA Y LOS VIEJOS</i>	148
APÉNDICE 2: <i>MARÍA MAGDALENA</i>	152
APÉNDICE 3: <i>LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES</i>	156
APÉNDICE 4: <i>LA CIRCUNCISIÓN</i>	163
APÉNDICE 5: <i>LA RESURRECCIÓN</i>	173
APÉNDICE 6: <i>SAN GREGORIO</i>	180
APÉNDICE 7: <i>SAN AGUSTÍN</i>	187
BIBLIOGRAFÍA	141

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: COMPONENTES DE LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA. (9)	6
FIGURA 2: ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO (11).....	7
FIGURA 3: ESQUEMA DE LOS DIFERENTES MODELOS ATÓMICOS. (12)	8
FIGURA 4: LÍNEAS ESPECTRALES ORIGINADAS EN LAS TRANSICIONES ENTRE NIVELES DE ENERGÍA	11
FIGURA 5: DIAGRAMA DE LAS TRANSICIONES DE ELECTRONES ENTRE LOS NIVELES ENERGÉTICOS DE UN ÁTOMO (14).	11
FIGURA 6: ESQUEMA DE LA INTERACCIÓN ELECTROMAGNÉTICA AL PASAR DE UN MEDIO A OTRO (18)	15
FIGURA 7: ESPECTROS DE ABSORCIÓN DE LUZ VISIBLE DE ALGUNOS ELEMENTOS (21).....	16
FIGURA 8: ESPECTROS DE EMISIÓN DE LUZ VISIBLE DE VARIOS ELEMENTOS (22).....	17
FIGURA 9: ESQUEMA DEL EFECTO FOTOELÉCTRICO (23).	18
FIGURA 10: DIAGRAMA DEL EFECTO COMPTON (24)	19
FIGURA 11: DIAGRAMA DE LA PRODUCCIÓN DE PARES (26).....	20
FIGURA 12: DIAGRAMA DE LOS DISTINTOS TIPOS DE DISPERSIÓN. MODIFICADA (28).....	21
FIGURA 13: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA REDUCCIÓN DE LA INTENSIDAD DE UNA ONDA A CAUSA DE LA ATENUACIÓN POR PARTE DEL MEDIO (30).....	22
FIGURA 14: ESQUEMA QUE MUESTRA LOS TIPOS DE VIBRACIONES MOLECULARES (37).....	28
FIGURA 15: VISTA GENERAL DE LA OBRA ARTÍSTICA Y DETALLES DE LA MISMA: A: MACROFOTOGRAFÍA CON LUZ RASANTE. B: FOTOGRAFÍA CON LUZ ULTRAVIOLETA. C: IMAGEN CON REFLECTOGRAFÍA INFRARROJA. (41).....	31
FIGURA 16: ESQUEMA DE LA INTERACCIÓN ENTRE UNA OBRA PICTÓRICA Y LA RADIACIÓN INFRARROJA Y VISIBLE.	32
FIGURA 17: IMAGEN EN LUZ VISIBLE DE LA PINTURA DE MARÍA MAGDALENA LOCALIZADA EN LA IGLESIA DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO, PUEBLA. FOTOGRAFÍAS POR D. MA. A.....	33
FIGURA 18: IMAGEN INFRARROJA DE LA PINTURA DE MARÍA MAGDALENA LOCALIZADA EN LA IGLESIA DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO, PUEBLA. FOTOGRAFÍAS POR D. MA. A.....	33
FIGURA 19: IMAGEN DE FALSO COLOR DE LA PINTURA DE MARÍA MAGDALENA LOCALIZADA EN LA IGLESIA DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO, PUEBLA. FOTOGRAFÍAS POR D. MA. A.....	33
FIGURA 20: ESQUEMA DE LA RADIACIÓN EMITIDA POR DESACELERACIÓN DE UN ELECTRÓN. MODIFICADO DE (45).	36
FIGURA 21: ESQUEMA DE UN TUBO DE RAYOS X.....	37
FIGURA 22: SUPERPOSICIÓN DE UN ESPECTRO CONTINUO Y UNO DE LÍNEAS DE RAYOS-X. MODIFICADA DE (46).	38
FIGURA 23: DIAGRAMA DE LA FLUORESCENCIA DE RAYOS X (48).	39
FIGURA 24: LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE HUEJOTZINGO, PUEBLA.....	42
FIGURA 25: DIAGRAMA ARQUITECTÓNICO DE LA PLANTA BAJA DEL EX -CONVENTO DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO, PUEBLA. LA FLECHA SEÑALA LA LOCALIZACIÓN DEL RETABLO MAYOR DONDE SE ENCUENTRAN LAS PINTURAS ESTUDIADAS. MODIFICADO DE (52).....	43
FIGURA 26: ESQUEMA DEL RETABLO MAYOR DEL TEMPLO DEL EX-CONVENTO DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO, PUEBLA. LAS OBRAS ESTUDIADAS PERTENECEN A LA CALLE IZQUIERDA DEL RETABLO. (53)	43
FIGURA 27: RETABLO MAYOR DEL TEMPLO DEL EX- CONVENTO DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO, PUEBLA (53).....	44
FIGURA 28: LA VIRGEN DEL PERDÓN, SIMÓN PEREYNS (76).....	52
FIGURA 29: FOTOGRAFÍA DE LA PINTURA "EL JUICIO FINAL" DE ANDRÉS DE CONCHA, TEMPLO DE SANTO DOMINGO, YANHUITLÁN, OAXACA. (80)	54
FIGURA 30: SAN JUAN ESCRIBIENDO EL APOCALIPSIS, ÓLEO SOBRE TABLA (CATEDRAL DE CUAUTITLÁN). PINTADO POR MARTÍN DE VOS, 1581. (86).....	56
FIGURA 31: SUSANA Y LOS VIEJOS DE MARTIN DE VOS. (88)	57
FIGURA 32: ESQUEMA GENERAL DE TRABAJO.....	59
FIGURA 33: ESQUEMA DE LA TOMA DE FOTOGRAFÍA INFRARROJA.	60
FIGURA 34: ESQUEMA DE LOS EQUIPOS SANDRA. MODIFICADO DE (92)	61
FIGURA 35: DISPOSITIVO DE RAYOS-X Y DETECCIÓN DE LOS EQUIPOS SANDRA. MODIFICADO DE (93)	62
FIGURA 36: ANÁLISIS DE XFR UTILIZANDO EL EQUIPO SANDRA EN LA CIRCUNCISIÓN Y LA RESURRECCIÓN RESPECTIVAMENTE (93)	63

FIGURA 37: ANÁLISIS DE XRF EN LA ESCULTURA SAN GREGORIO (93)	63
FIGURA 38: TABLAS DE PIGMENTOS DE REFERENCIA UTILIZADAS PARA REALIZAR EL ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE IMAGEN. FOTOGRAFÍA TOMADA POR D. MA. AGUILAR TÉLLEZ.	65
FIGURA 39: SUSANA Y LOS VIEJOS, IMAGEN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR SE PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.....	67
FIGURA 40: MARÍA MAGDALENA, IMAGEN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR SE PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.....	69
FIGURA 41: LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES, IMAGEN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.....	72
FIGURA 42: LA CIRCUNCISIÓN, IMAGEN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.....	74
FIGURA 43: LA RESURRECCIÓN, IMAGEN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR SE PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.	76
FIGURA 44: DETALLE DE LA TÚNICA DE SAN GREGORIO, IMAGEN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.	78
FIGURA 45: DETALLE DE LA TÚNICA DE SAN GREGORIO, IMAGEN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.	79
FIGURA 47: SAN AGUSTÍN, IMÁGENES DE DETALLES DE LA ESCULTURA DE SAN AGUSTÍN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR SE PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.	81
FIGURA 48: SAN AGUSTÍN, IMÁGENES DE DETALLES DE LA ESCULTURA DE SAN AGUSTÍN EN LUZ VISIBLE Y DESPUÉS DE APLICAR LA TÉCNICA DE FALSO COLOR. LA IMAGEN DE FALSO COLOR SE PRESENTA EL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS PIGMENTOS DE LA OBRA Y LOS DE REFERENCIA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.....	82
FIGURA 49: ESPECTRO DE XRF OBTENIDO PARA EL PUNTO DE ANÁLISIS COLOR AZUL EN LA CIRCUNCISIÓN.	84
FIGURA 50: ESPECTRO DE XRF OBTENIDO PARA EL PUNTO DE ANÁLISIS COLOR AMARILLO EN LA CIRCUNCISIÓN.	85
FIGURA 51: ESPECTRO DE XRF OBTENIDO PARA EL PUNTO DE ANÁLISIS COLOR VERDE EN LA RESURRECCIÓN.	85
FIGURA 52: GRÁFICA DE LOS ELEMENTOS ENCONTRADOS EN LAS COLORACIONES AZULES PARA SUSANA Y LOS VIEJOS.	90
FIGURA 53: GRÁFICA DE LOS ELEMENTOS ENCONTRADOS EN ALGUNAS DE LAS COLORACIONES VERDES ANALIZADAS PARA MARÍA MAGDALENA.	94
FIGURA 54: A) IMAGEN TOMADA DEL ANÁLISIS HECHO CON MICROGRAFÍA ÓPTICA DE LUZ POLARIZADA AL MANTO DE LA VIRGEN DE LA PINTURA <i>LA VIRGEN DEL PERDÓN</i> DE SIMÓN PEREYNS, DONDE PUEDEN OBSERVARSE PARTÍCULAS DE ESMALTE GRISÁCEAS COMO RESULTADO DE LA DEGRADACIÓN (FLECHAS BLANCAS). B) MICROGRAFÍA SEM DE RETRODISPERSIÓN QUE PERTENECE A LA MISMA ZONA (103).	96
FIGURA 55: IMAGEN DEL ANÁLISIS HECHO POR MEDIO DE MICROSCOPIA ÓPTICA A UNA SECCIÓN TRASVERSAL DE LA PINTURA <i>LOS DIOSES DEL OLIMPO</i> , PAUL VÉRONÈSE. MODIFICADA DE (104).	96
FIGURA 56: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL FE, CU Y EL CO PARA SUSANA Y LOS VIEJOS.....	114
FIGURA 57: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL CO Y LOS ELEMENTOS ASOCIADOS A LA FABRICACIÓN DEL ESMALTE PARA SUSANA Y LOS VIEJOS.....	115
FIGURA 58: GRÁFICA DEL ANÁLISIS DE CÚMULOS REALIZADA POR EL PROGRAMA STATISTICA	116
FIGURA 59: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL FE, CU Y EL CO PARA MARÍA MAGDALENA.	117
FIGURA 60: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL FE, CU Y EL CO PARA LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES.....	118
FIGURA 61: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL FE, CU Y EL CO PARA LA CIRCUNCISIÓN.	119
FIGURA 62: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL FE, CU Y EL CO PARA LA RESURRECCIÓN.	120
FIGURA 63: GRÁFICA COMPLEMENTARIA PARA EL ANÁLISIS DE LOS CALORES DE FE/CO Y CU/CO DE LA RESURRECCIÓN.....	121
FIGURA 64: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL CO Y LOS ELEMENTOS ASOCIADOS A LA FABRICACIÓN DEL ESMALTE PARA MARÍA MAGDALENA.	123

FIGURA 65: GRÁFICA DE ANÁLISIS DE CÚMULOS HECHA POR EL PROGRAMA STATISTICA QUE MUESTRA LA AGRUPACIÓN DE LOS PUNTOS DE ANÁLISIS PARA MARÍA MAGDALENA.....	123
FIGURA 66: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL CO Y LOS ELEMENTOS ASOCIADOS A LA FABRICACIÓN DEL ESMALTE PARA LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES.	125
FIGURA 67: GRÁFICA DE ANÁLISIS DE CÚMULOS HECHA POR EL PROGRAMA STATISTICA QUE MUESTRA LA AGRUPACIÓN DE LOS PUNTOS DE ANÁLISIS PARA LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES.....	125
FIGURA 68: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL CO Y LOS ELEMENTOS ASOCIADOS A LA FABRICACIÓN DEL ESMALTE PARA.....	126
FIGURA 69: GRÁFICA DE ANÁLISIS DE CÚMULOS HECHA POR EL PROGRAMA STATISTICA QUE MUESTRA LA AGRUPACIÓN DE LOS PUNTOS DE ANÁLISIS PARA LA CIRCUNCISIÓN.	127
FIGURA 70: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL CO Y LOS ELEMENTOS ASOCIADOS A LA FABRICACIÓN DEL ESMALTE PARA LA RESURRECCIÓN.	128
FIGURA 71: GRÁFICA DE ANÁLISIS DE CÚMULOS HECHA POR EL PROGRAMA STATISTICA QUE MUESTRA LA AGRUPACIÓN DE LOS PUNTOS DE ANÁLISIS PARA LA RESURRECCIÓN.	128
FIGURA 72: CURVA DE SENSIBILIDAD COMO FUNCIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS-X PARA EL DETECTOR SI-PIN UTILIZANDO TUBOS DE RAYOS X DE MO, RH Y W, USANDO CONDICIONES SIMILARES (0.3MA, 45 KV).....	130
FIGURA 73: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL HIERRO (Fe), MERCURIO (Hg) Y POTASIO (K) PARA LOS ROJOS Y COLORES DERIVADOS DEL ROJO PARA SUSANA Y LOS VIEJOS.....	132
FIGURA 74: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL HIERRO (Fe), MERCURIO (Hg) Y POTASIO (K) PARA LOS ROJOS Y COLORES DERIVADOS DEL ROJO PARA MARÍA MAGDALENA.	133
FIGURA 75: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL HIERRO (Fe), MERCURIO (Hg) Y POTASIO (K) PARA LOS ROJOS Y COLORES DERIVADOS DEL ROJO PARA LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES.	134
FIGURA 76: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL HIERRO (Fe), MERCURIO (Hg) Y POTASIO (K) PARA LOS ROJOS Y COLORES DERIVADOS DEL ROJO PARA LA CIRCUNCISIÓN.	135
FIGURA 77: GRÁFICA DE LAS RAZONES ENTRE EL HIERRO (Fe), MERCURIO (Hg) Y POTASIO (K) PARA LOS ROJOS Y COLORES DERIVADOS DEL ROJO PARA LA RESURRECCIÓN.....	136
FIGURA 78: PUNTOS ANALIZADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE XRF, SUSANA Y LOS VIEJOS. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM....	148
FIGURA 79: PUNTOS ANALIZADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE XRF, MARÍA MAGDALENA. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM....	152
FIGURA 80: PUNTOS ANALIZADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE XRF, LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.	156
FIGURA 81: PUNTOS ANALIZADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE XRF, LA CIRCUNCISIÓN. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.	163
FIGURA 82: PUNTOS ANALIZADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE XRF, LA RESURRECCIÓN. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM.	173
FIGURA 83: PUNTOS ANALIZADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE XRF, SAN GREGORIO. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM	182
FIGURA 84: PUNTOS ANALIZADOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE XRF, SAN AGUSTÍN. FOTOS POR D. MA. AGUILAR IF- UNAM	188

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: TABLA DE LOS PIGMENTOS UTILIZADOS POR LOS ARTISTAS DE LA NUEVA ESPAÑA.	46
TABLA 2: COLOR OBSERVABLE DE LOS PIGMENTOS MUESTRA DESPUÉS DE HABER APLICADO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR (34).....	66
TABLA 3: PUNTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR, SUSANA Y LOS VIEJOS (34) (93).	68
TABLA 4: PUNTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR, MARÍA MAGDALENA. (34) (93).	70
TABLA 5: PUNTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR, LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES (34) (93).	73
TABLA 6: PUNTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR, LA CIRCUNCISIÓN. (34) (93).....	75
TABLA 7: PUNTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR, LA RESURRECCIÓN. (34) (93)	77
TABLA 8: PUNTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR, SAN GREGORIO. (34) (93) (101)	80
TABLA 9: PUNTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR, SAN AGUSTÍN (34) (85) (101).	83
TABLA 10: RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE XRF DE SUSANA Y LOS VIEJOS (57) (99)	88
TABLA 11: RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE XRF DE MARÍA MAGDALENA (57) (99).	92
TABLA 12: RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE XRF DE LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES (57) (99).	97
TABLA 13: RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE XRF DE LA CIRCUNCISIÓN (57) (99).	99
TABLA 15: RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE XRF DE LA RESURRECCIÓN (57) (99)	101
TABLA 16: RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE XRF DE SAN GREGORIO. LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PIGMENTOS SE ENCUENTRAN SEÑALADOS EN NEGRITAS (57) (99) (107)	103
TABLA 18: RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE XRF DE SAN AGUSTÍN. LOS ELEMENTOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LOS PIGMENTOS SE ENCUENTRAN SEÑALADOS EN NEGRITAS (57) (99) (107)	105
TABLA 19: TABLA DE LOS PIGMENTOS PRINCIPALES QUE FUERON IDENTIFICADOS PARA CADA OBRA.	108
TABLA 20: TABLA DE COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE FALSO COLOR Y LA FLUORESCENCIA DE RAYOS-X.....	109
TABLA 1: ESMALTES UTILIZADOS EN LA REALIZACIÓN DE LAS PINTURAS DEL RETABLO MAYOR DE LA IGLESIA DEL EX CONVENTO DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO PUEBLA.	129
TABLA 21: ORDEN DE INTENSIDAD DE LOS PICOS CARACTERÍSTICOS DE CADA ELEMENTO EN RELACIÓN CON EL TUBO DE MOLIBDENO DE XRF PARA SUSANA Y LOS VIEJOS.....	149
TABLA 22: ORDEN DE INTENSIDAD DE LOS PICOS CARACTERÍSTICOS DE CADA ELEMENTO EN RELACIÓN CON EL TUBO DE MOLIBDENO DE XRF PARA MARÍA MAGDALENA.	152
TABLA 23: ORDEN DE INTENSIDAD DE LOS PICOS CARACTERÍSTICOS DE CADA ELEMENTO EN RELACIÓN CON EL TUBO DE MOLIBDENO DE XRF PARA LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES.	157
TABLA 24: ORDEN DE INTENSIDAD DE LOS PICOS CARACTERÍSTICOS DE CADA ELEMENTO EN RELACIÓN CON EL TUBO DE MOLIBDENO DE XRF PARA LA CIRCUNCISIÓN.	164
TABLA 25: ORDEN DE INTENSIDAD DE LOS PICOS CARACTERÍSTICOS DE CADA ELEMENTO EN RELACIÓN CON EL TUBO DE MOLIBDENO DE XRF PARA LA RESURRECCIÓN.....	174
TABLA 26: ORDEN DE INTENSIDAD DE LOS PICOS CARACTERÍSTICOS DE CADA ELEMENTO EN RELACIÓN CON EL TUBO DE MOLIBDENO DE XRF PARA SAN GREGORIO.....	182
TABLA 27: ORDEN DE INTENSIDAD DE LOS PICOS CARACTERÍSTICOS DE CADA ELEMENTO EN RELACIÓN CON EL TUBO DE MOLIBDENO DE XRF PARA SAN AGUSTÍN.....	188

RESUMEN

México cuenta con un gran patrimonio artístico, cultural e histórico. Este nos ha sido heredado por los artesanos de las culturas prehispánicas, los artistas que vinieron de Europa buscando nuevas oportunidades en la Nueva España, los indígenas que aprendieron los artes y oficios de los artistas europeos así como la aportación que han hecho los artistas del mundo moderno. La importancia de estudiar este patrimonio radica en el interés de conocer y conservar las obras que lo conforman para que sigan siendo parte de la herencia de futuras generaciones.

Los estudios que involucran métodos no destructivos son pieza clave en la conservación del patrimonio cultural. Dichos métodos permiten obtener información relevante para la conservación y restauración de las obras sin la necesidad de la toma de muestras lo cual implica que no se compromete su estado de conservación. Los equipos con lo que estos estudios se realizan han evolucionado rápidamente de tal forma que ahora es posible trasportarlos al lugar donde las piezas se encuentran. Este avance ha sido de gran importancia ya que existen obras artísticas que son imposibles de trasportar como el caso de las pinturas rupestres, retablos, murales, etc.

Las distintas técnicas de imagen y las espectroscopias que se han desarrollado en los últimos años nos han brindado un mayor entendimiento de la composición y elaboración de las obras arte. Las distintas técnicas de imagen como son la fotografía infrarroja y la técnica de infrarrojo de falso color nos permiten realizar un análisis global de las obras antes de proceder a realizar los estudios mediante técnicas puntuales. Estas técnicas nos brindan la posibilidad observar detalles que no se pueden apreciar a simple vista, por ejemplo, la fotografía infrarroja nos facilita observar el dibujo preparatorio de una pintura y la técnica de infrarrojo de falso color nos ayuda a planear hipótesis sobre los pigmentos que la componen.

La espectroscopia por Fluorescencia de rayos X ha sido una herramienta esencial en los estudios mediante técnicas no destructivas ya que nos permite descifrar la composición elemental de los diversos materiales utilizados para la elaboración de obras de arte. Este tipo de análisis ha cobrado gran importancia en comparación con las técnicas que requieren toma de muestras. La portabilidad de los equipos de fluorescencia de rayos X y su capacidad para detectar un amplio grupo elementos representa una gran ventaja. Entre sus limitaciones se encuentran la imposibilidad de detectar elementos ligeros (número atómico menor a 15), lo cual impide la detección de componentes orgánicos y la superposición de las energías de los rayos x característicos de algunos elementos pueden dificultar la identificación de algunos materiales.

El objetivo de este trabajo es aplicar una metodología de estudio basada en el uso de distintas técnicas de imagen (fotografía visible, infrarroja e imagen infrarroja de falso color) y la espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (XRF) para el estudio de pintura de caballete realizada en el periodo colonial mexicano (siglo XVI –XVII). Se busca que estos métodos permitan la identificación de los distintos pigmentos y colorantes con los que estas obras fueron realizadas para así ampliar la base de datos de los pigmentos utilizados en las obras durante esta época por los artistas residentes en la Nueva España. Esto permitirá generar conocimiento útil para determinar mejores tratamiento de conservación y restauración.

INTRODUCCIÓN

El arte en la Nueva España o arte novohispano fue inicialmente el reflejo de los ideales políticos y religiosos característicos de Europa que los españoles impusieron a los habitantes del Nuevo Mundo. En un principio, las obras artísticas más importantes fueron encomendadas a artistas europeos de renombre que llegaron a la Nueva España para realizar dichos encargos o como parte de la corte de los virreyes. Estos artistas encontraron en la Nueva España una oportunidad de desarrollar sus carreras así como la posibilidad de enseñar a algunos indígenas a realizar obras artísticas según la tradición europea. (1) El gran valor cultural que poseen las piezas artísticas del periodo novohispano obliga a que éstos sean conservados de la mejor forma posible para que futuras generaciones puedan disfrutar de la gran riqueza artística de este periodo de la historia de México. Otras de las razones de importancia de estudiar el arte que se desarrolló en la Nueva España entre los siglos XVI y XVII es el conocer cómo es que la pintura europea se adapta y desarrolla en el periodo virreinal para dar paso a nuevas formas de expresarse con el pincel en la época novohispana.

Al ser piezas antiguas y de gran valor muchas veces la toma de muestras está restringida o es imposible de realizar, por esto es importante que las técnicas de análisis mediante métodos no destructivos y no invasivos tomen un lugar protagónico en el estudio del patrimonio cultural. Las técnicas de espectroscopia mediante métodos no destructivos permiten obtener información fundamental para la identificación de los materiales que componen las obras artísticas sin alterar sus propiedades físicas y/o químicas. Estas técnicas se basan en la interacción de la radiación con la materia lo que induce transiciones entre los diferentes niveles de energía de los átomos y moléculas. Algunas de estas son: espectroscopia Infrarroja, Espectroscopia de Emisión y Absorción atómica, de Fluorescencia de rayos-X, Análisis por Difracción de rayos-X (2) y Espectroscopia Raman.

Dentro de las técnicas espectroscópicas no destructivas, una de las más importantes y extensamente utilizadas es la Fluorescencia de rayos-X (XRF, por sus siglas en inglés). Esta técnica permite la identificación de la composición elemental de los materiales que constituyen una obra (3). La Fluorescencia de rayos-X se ha utilizado desde principios de los 1970's como herramienta en el estudio de piezas arqueológicas y artísticas. En un principio, ésta era utilizada para realizar análisis cualitativo, pero gracias a su utilidad y ventajas se fueron desarrollando nuevos sistemas que permiten realizar análisis cuantitativos mediante el uso de materiales de referencia certificados, así como dispositivos portátiles para análisis *in situ*.

Junto con las técnicas espectroscópicas se han ido desarrollando técnicas de imagen las cuales también son muy útiles para el estudio de piezas artísticas. Dichas técnicas son no invasivas y permiten realizar un examen global preliminar muy útil y a veces decisivo para algunas investigaciones sobre piezas de arte (4). Las principales ventajas de estas técnicas son su simplicidad, su portabilidad, su precio accesible y el hecho de que permiten realizar un examen previo de los objetos de interés antes de realizar estudios con técnicas más sofisticadas. Ejemplos de estas son la fotografía infrarroja y la técnica de infrarrojo de falso color; estas son particularmente útiles en el campo de la conservación y restauración del patrimonio cultural ya que proveen información acerca de los pigmentos, técnicas, retoques, etc. (5) (6). Sin embargo, la interpretación de las imágenes obtenidas utilizando la técnica infrarrojo de falso color se sigue haciendo a simple vista, lo cual puede dar lugar a subjetividades. No obstante, estas técnicas son de tal interés que se ha buscado desarrollar programas computacionales que permitan la identificación de pigmentos en obras de arte (7).

La caracterización de manera analítica de los pigmentos usados en pinturas es un método valioso para la historia del arte y también es útil para los trabajos de conservación y restauración (2). En general, los procesos antiguos y prácticas de manufactura pueden ser inferidos gracias a los estudios realizados mediante técnicas espectroscópicas y de imagen. Estos estudios no solo permiten la caracterización de los pigmentos que componen una obra, también permiten identificar repintes posteriores, restauraciones y tener una idea de la cronología de las obras estudiadas. En el caso de la Fluorescencia de Rayos X la identificación de los pigmentos puede realizarse conociendo algunos de sus componentes mayoritarios (2).

El objetivo de este trabajo fue realizar la identificación de los diferentes pigmentos que componen la obra de Susana y los Viejos del pintor flamenco Martín de Vos perteneciente a la colección Pérez Simón y también realizar la identificación de los pigmentos que componen 6 de las obras localizadas en el retablo mayor de la Iglesia del Ex –convento de San Miguel Arcángel, localizado en Huejotzingo Puebla. Estas obras fueron cuatro pinturas tituladas: *María Magdalena*, *La Adoración de los Pastores*, *La Circuncisión*, *La Resurrección* y las esculturas policromadas de *San Gregorio* y *San Agustín*. Para esto se utilizó fotografía visible, infrarroja, infrarroja de falso color y Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X.

Debido a que las obras estudiadas para este proyecto no podían ser trasladadas al laboratorio se realizó un estudio *in situ*. En el caso de Susana y los Viejos el estudio *in situ* involucró solo el traslado de los equipos al Museo Nacional de San Carlos donde dicha pintura se encontraba. En cambio, para las piezas localizadas en Huejotzingo, Puebla, fue necesario la implementación de un andamio que permitiera tener acceso a las pinturas ya que éstas no podían ser desmontadas del retablo. Las esculturas fueron desmontadas de éste pero no podían ser trasladadas tampoco por lo que se acondicionó una pequeña área dentro de la iglesia que permitía trabajar de forma adecuada.

Los resultados obtenidos fueron comparados con estudios previos sobre identificación de pigmentos presentes en pintura de caballete de la región española de Flandes y de la Nueva España. Esto nos ayudó a corroborar y comparar los resultados que se obtuvieron por medio de las técnicas de Imagen infrarroja de falso color y de Fluorescencia de rayos-X para apoyar la identificación de pigmentos realizada. En este estudio se le puso especial atención al pigmento esmalte ya que era de gran importancia en Europa durante siglo XVI. Esto nos llevó a realizar un análisis de la composición de las coloraciones azules, verdes y negras donde se encontró presencia de esmalte así como la composición de este mismo en cada una de las pinturas. Este análisis se realizó para identificar el uso y combinación del esmalte con otros pigmentos y para saber si el esmalte tenía un mismo proceso de fabricación o procedencia. Esto podría revelar si las pinturas y esculturas fueron hechas por un mismo artista o taller o durante el mismo proceso artístico.

Se realizó también un análisis sobre la composición de las coloraciones rojas, encarnaciones y cafés para determinar si existía presencia de laca roja en las obras estudiadas. Este proceso se realizó con infrarrojo de falso color debido a que la laca roja no puede observarse en los estudios de Fluorescencia de Rayos X debido a que su composición es orgánica. El proceso abarcó la identificación de los elementos inorgánicos asociados al proceso de manufactura de la laca.

El presente estudio forma parte de un proyecto interdisciplinario de mayor escala y se realizó gracias al apoyo de los proyectos: CONACYT CB2012 179601: Historias de pincel. Metodología interdisciplinaria para el estudio de la técnica pictórica, materiales y conservación en la pintura de la Nueva España. Coordinado por la Dra. Elisa Vargaslugo Rangel investigadora del Instituto de Investigaciones en Estéticas y al apoyo del Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación del Patrimonio Cultural LANCIC sede Instituto de Física UNAM, a través de los proyectos CONACYT LN 232619, LN 260779 y LN271614, así como el apoyo parcial de los proyectos PAPIIT UNAM IN110416 y CONACYT CB 239609, coordinados por el Dr. José Luis Ruvalcaba Sil, investigador del Instituto de Física de la Universidad Nacional Autónoma de México.

OBJETIVO DEL ESTUDIO

LOS OBJETIVOS PRINCIPALES DE PROYECTO

1. Implementar y optimizar la metodología de caracterización de los pigmentos utilizados en la pintura novohispana y europea mediante el uso de las técnicas de imagen de infrarrojo de falso color y Fluorescencia de Rayos X, en especial llevar a cabo el estudio de cuatro pinturas y dos esculturas pertenecientes al retablo mayor de la iglesia del Ex convento de San Miguel Arcángel localizadas en Huejotzingo, Puebla.
2. Realizar la identificación de pigmentos de la pintura Susana y los Viejo del pintor Martín de Vos mediante el uso de la técnica de imagen de infrarrojo de falso color y Fluorescencia de rayos-X.
3. Realizar una comparación entre los pigmentos utilizados en la realización de las obras mencionadas.
4. Realizar una comparación entre los pigmentos utilizados en la realización de las pinturas y esculturas del retablo mayor de la iglesia de Huejotzingo.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ⇒ Realizar la comparación del pigmento esmalte utilizado en cada una de las pinturas para determinar si fueron realizadas en el mismo proceso artístico.
- ⇒ Comparar la composición de las combinaciones de pigmentos que contienen esmalte (azules, negras y verdes), determinar la proporción del pigmento esmalte con respecto a los otros pigmentos utilizados para estas combinaciones y así poder determinar si estas fueron realizadas durante el mismo proceso artístico.
- ⇒ Comparar la composición de las combinaciones de pigmentos que pueden contener pigmentos rojos (rojos, encarnaciones y cafés), determinar su proporción con respecto a los otros pigmentos presentes en las combinaciones mencionadas y determinar también si existe la presencia de laca roja mediante la identificación de los pigmentos asociados a la fabricación de la misma.

La información obtenida nos ayudará a determinar si las pinturas y esculturas de Huejotzingo fueron pintadas por el mismo artista o taller. La comparación entre la pintura de Martín de Vos y las pertenecientes al retablo mayor de la iglesia de Huejotzingo nos ayudará a establecer una línea de continuidad entre la técnica de tradición flamenca. Los resultados obtenidos en cuanto a la composición elemental de los pigmentos con los que las obras fueron elaboradas pasará a formar parte del proyecto principal en el cual se busca recabar la mayor cantidad de información útil sobre pintura novohispana y obras de la escuela flamenca de pintura que se encuentre en México y para contribuir a establecer estrategias necesarias para su conservación y restauración.

HIPÓTESIS

La implementación *in situ* de métodos no invasivos de análisis como lo son las técnicas de imagen y la espectroscopia por Fluorescencia de Rayos X (XRF) nos permitirá caracterizar la composición de los pigmentos que componen nuestro objeto de estudio: la pintura de caballete y la escultura policromada novohispana.

En este estudio se busca complementar los análisis realizados mediante la aplicación de las distintas técnicas de imagen con Fluorescencia de Rayos X. Las técnicas de imagen nos permitirán realizar un estudio global y una pre-identificación de los distintos pigmentos presentes en las obras, mientras que la Fluorescencia de Rayos X nos permite conocer la composición elemental de los pigmentos y corroborar los resultados de la técnica de imagen. Implementar estas técnicas en el estudio *in situ* de pintura de caballete y escultura policromada Novohispana nos permitirá obtener información de los materiales sin la necesidad de toma de muestras.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS FÍSICOS

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La radiación electromagnética es generada por la presencia de un campo eléctrico variable. Dicho campo puede ser generado por cargas eléctricas así como por un campo magnético variable. Similarmente, los campos magnéticos son generados por corrientes eléctricas y por campos eléctricos variables en el tiempo (8 pág. 37). Es decir, la radiación electromagnética está compuesta por un campo eléctrico y un campo magnético oscilantes que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. Desde el punto de vista clásico la radiación electromagnética son las ondas generadas por las fuentes del campo electromagnético y que se propagan a la velocidad de la luz ($c = 299.792.458 \text{ m/s}$). La longitud de onda y la frecuencia de la radiación electromagnética están relacionadas entre sí por la velocidad de la luz. La generación y la propagación de estas ondas son compatibles con el modelo de ecuaciones matemáticas definido en las ecuaciones de Maxwell (8)

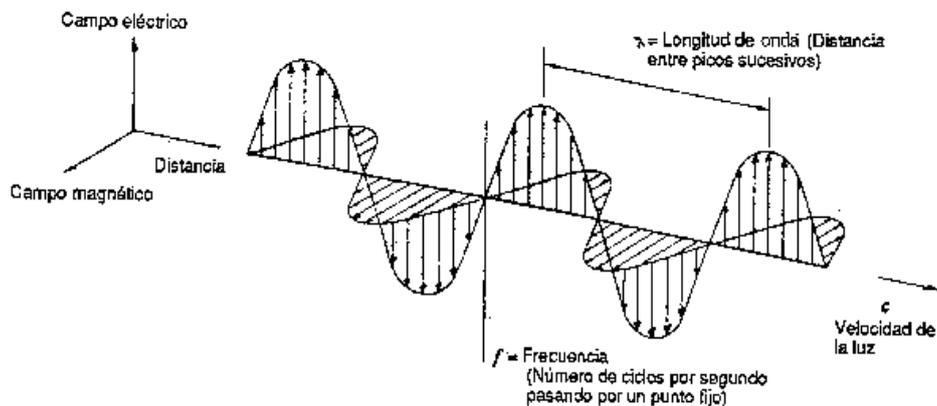


Figura 1: Componentes de la radiación electromagnética. (9)

Dualidad Onda- Partícula

En el mundo macroscópico es muy fácil distinguir a una partícula de una onda, sin embargo, en la mecánica cuántica las cosas son diferentes. Una partícula o conjunto de partículas, bajo ciertas condiciones, pueden comportarse bajo las leyes de la mecánica clásica. A su vez un haz de electrones que tiene cierta velocidad puede comportarse según las propiedades y atributos de una onda, es decir: puede reflejarse, refractarse y difractarse.

A su vez, tratamos la radiación electromagnética como onda ya que bajo circunstancias adecuadas, dicha radiación presenta propiedades de onda, como difracción, interferencia y polarización (10 págs. 43-45). También, bajo otras condiciones, la radiación electromagnética se comporta como si estuviera compuesta por un haz de partículas con una cantidad de movimiento definida.

La radiación electromagnética está compuesta por partículas indivisibles y sin masa conocidas como fotones. Estas partículas son las encargadas de transportar la energía de las ondas electromagnéticas en pequeños paquetes conocidos como *cuantos*. Esta dualidad onda-corpúsculo hace que cada fotón tenga una energía directamente proporcional a la frecuencia de la onda asociada, dada por la relación de Planck. Debido a esto, la radiación electromagnética se comporta como una onda cuando se propaga y como una partícula cuando interactúa con la materia. Cuando la radiación electromagnética se propaga o se genera, dichas ondas son compatibles con el modelo matemático de las ecuaciones de Maxwell.

Tipos de Radiación electromagnética.

Los distintos tipos de radiación electromagnética forman lo que se denomina el espectro electromagnético que está constituido por: las ondas de radio, las microondas, la luz infrarroja, visible y ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma. Cada uno de estos tipos de radiación se distingue por su longitud de onda, la radiación de menor longitud de onda tiene mayor frecuencia y energía.

Los rayos gamma constituyen la radiación electromagnética más energética (es la de mayor frecuencia), los Rayos X son de un rango menor de energía a la anterior y ambos se consideran radiación ionizante.

La radiación ultravioleta (UV) es la siguiente en el rango de intensidad energética, esta radiación proviene mayormente del sol. La radiación visible, mejor conocida como luz visible, es el rango de frecuencias que son perceptibles para el ojo humano; ésta abarca desde el color rojo hasta el color violeta.

La radiación infrarroja es la que es emitida por cuerpos calientes, su energía es menor que la de la luz visible. Las microondas son las siguientes en intensidad energética, es la que se emplea para electrodomésticos y terapia médica. Por último están las ondas radioeléctricas, son las ondas menos energéticas, son las que se emplean en telecomunicaciones.

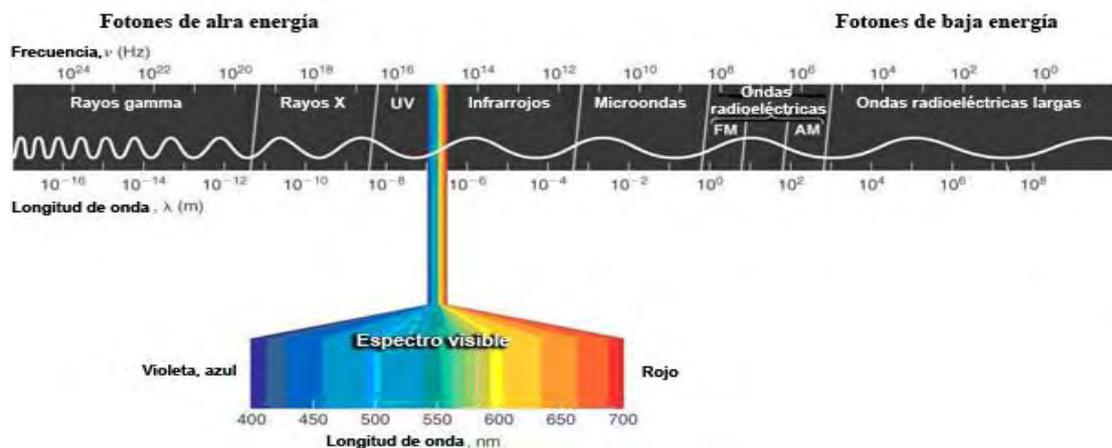


Figura 2: Espectro electromagnético (11).

ÁTOMOS Y MOLÉCULAS

Estructura interna (10)

Anteriormente, al pensar en el átomo, evocábamos una imagen muy parecida a la del sistema solar, es decir, pequeños cuerpos (los electrones) girando alrededor de un cuerpo central (el núcleo), este modelo es conocido como el modelo atómico de Bohr. Si bien sabemos que los electrones son partículas con una carga eléctrica negativa y que el núcleo está compuesto por partículas cargadas positivamente y partículas sin carga conocidas como protones y neutrones respectivamente; esto no fue descubierto sino hasta hace relativamente poco tiempo.

El modelo atómico ha cambiado notablemente con el paso de la historia, comenzando por los modelos hechos por los griegos en el siglo V a. C. pasando por el modelo esférico de Dalton, el cual fue utilizado por muchos años. En 1892 J.J. Thomson demostró la existencia de las partículas cargadas negativamente (los electrones) dando paso al modelo conocido como “el budín inglés”. Después de estos modelos vinieron los conocidos como modelos planetarios donde se incluyen los modelos de Rutherford y Bohr, en ellos la mayoría de la materia del átomo se concentra en un núcleo cargado positivamente y las partículas cargadas negativamente orbitan dicho núcleo.

Por último, el modelo atómico de Schrödinger predice las órbitas de los electrones mediante densidades de probabilidad, donde el espacio donde hay una mayor probabilidad de encontrar un electrón es conocido como orbital. A pesar de que este último modelo es el que mejor predice la estructura electrónica del átomo y su interacción con la estructura electrónica de otros átomos, sigue sin predecir la estructura completa del átomo.

Aun cuando el modelo atómico de Schrödinger pueda ser el que mejor se acerque a lo real, éste es un modelo suficientemente complejo como para ser utilizado en la explicación de muchos fenómenos físicos que no requieren el uso riguroso de la mecánica cuántica. Por lo que el modelo atómico de Bohr, debido a su simplicidad, es el que se utiliza para explicar dichos fenómenos.

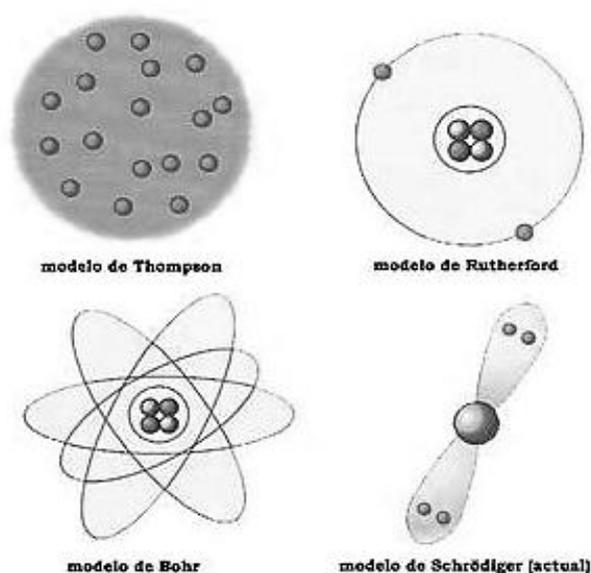


Figura 3: Esquema de los diferentes modelos atómicos. (12)

El modelo atómico de Bohr explica que los electrones pueden tener órbitas estables alrededor del núcleo, para esto Bohr estableció los siguientes postulados:

- Los electrones al moverse en las órbitas permitidas no radiaran energía. En ellas la energía del electrón será constante.
- Los electrones solo podrán girar en ciertas órbitas circulares de energía y radios determinados. En estas órbitas se cumplirá que el momento angular del electrón será múltiplo entero de $h/2\pi$. Estas serán las únicas órbitas posibles.
- Los electrones sólo absorberán o emitirán energía cuando “salten” de una órbita permitida a otra. En dicho proceso, los electrones absorberán o emitirán un fotón cuya energía será igual a la diferencia energética entre los orbitales.

Dichos postulados dan pauta a la primera propuesta de la cuantización de los estados de energía atómica. El modelo atómico de Bohr permite explicar fenómenos como la emisión espectral, la cual es característica de cada uno de los elementos químicos así como de los compuestos que dichos elementos forman. La justificación para la teoría de espectros atómicos se basa en el hecho de que los orbitales atómicos están restringidos a ciertas energías y en que los electrones sólo pueden pasar de un orbital a otro si al ganar o perder energía, alcanzan la energía de dicho orbital.

Números Cuánticos (10).

Cuando todos los electrones de un átomo se encuentran en su estado de energía más bajo, se dice que el átomo se encuentra en su estado base. Si alguno de estos electrones se encuentra en un estado de energía mayor, el átomo se encuentra en un estado excitado.

Los niveles de energía de los electrones se consideran negativos ya que se necesita imprimirles energía para que puedan pasar de un nivel electrónico permitido a otro, o en su caso, para que dichos electrones puedan abandonar el átomo, ya que estos no tienen la energía suficiente para poder separarse del átomo espontáneamente. Cuando un átomo se encuentra en su nivel más bajo de energía se dice que está en su estado base o estado fundamental y está dado para $n=1$, a los estados de energía subsecuentes, E_2 , E_3 , E_4 ... E_n se les conoce como estados excitados. Cuando el número cuántico n se va haciendo mayor la energía de los electrones se va aproximando cada vez más a cero, de tal manera que cuando $E_n = 0$ el electrón no está suficientemente ligado a un núcleo. En cambio, si la energía de un electrón es positiva significa que no está ligado al núcleo y por lo tanto no forma parte de un átomo. A este subíndice n se le conoce como número cuántico principal.

El número cuántico azimutal o secundario, l , designa el subnivel o subcapa dentro del nivel energético principal (determinado por n) e indica la forma del orbital en el cual se mueve el electrón alrededor del núcleo. En el caso de los átomos con más de un electrón, determina también el subnivel de energía en el que se encuentra un electrón dentro de un cierto nivel energético. El valor de l se designa según las letras: s , p , d y f ... El número cuántico azimutal describe la magnitud del vector de momento angular, L , de los electrones al girar alrededor del núcleo. L es perpendicular al plano donde el electrón lleva a cabo su movimiento de rotación alrededor del núcleo. Los valores de l dependen directamente de los valores del número cuántico principal (n). Puede tomar valores desde $l=0$ hasta $l=n-1$.

El número cuántico magnético, m , está relacionado con la orientación del orbital en el espacio. Sus valores dependen del número l y toma valores entre $-l$... 0 ... l . El número cuántico m representa la orientación del campo magnético que produce el electrón al ser una carga eléctrica en movimiento. Esto significa que m representa la orientación del giro que da el electrón. El campo magnético producido por el electrón es de la misma forma que la de un dipolo magnético (13).

El electrón posee su propio número cuántico que da a conocer el sentido de rotación del electrón cuando se mueve dentro de un orbital. A este número cuántico se le conoce como spin. El electrón solo tiene dos posibles sentidos de rotación por lo que el spin solo puede tomar valores de 1/2 o -1/2

Niveles de Energía Atómicos (10).

Los diversos niveles permitidos para un electrón implican diferentes energías electrónicas; a dichas energías se les conoce como niveles de energía atómica. Las diferentes energías que pueden alcanzar los electrones, E_n , vienen dadas por la expresión:

$$E_n = -\frac{me^2}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left(\frac{1}{n^2}\right) \quad n = 1,2,3 \dots \quad (1)$$

Cuando un electrón en un estado excitado cae a un estado inferior de energía, el electrón cede su energía sobrante en forma de un fotón cuya energía es igual a la diferencia entre dichos niveles energéticos, es decir:

$$E_f - E_i = h\nu \quad (2)$$

Al hacer el análisis de los niveles de energía del átomo de hidrógeno siguiendo el modelo del átomo de Bohr, podemos observar que cuando los electrones de dicho átomo pasan de un estado excitado, n_i , a un estado base, n_f , estos sólo puede emitir radiación de ciertas longitudes de onda. Dichas longitudes de onda están determinadas por series que dependen del número cuántico n_f , es decir, del número cuántico del nivel de energía final del electrón puesto que el electrón viaja del orbital cuyo número cuántico es mayor hacia otro cuyo número cuántico es menor ya que hay un exceso de energía que debe transformarse en un fotón para que dicha transición pueda llevarse a cabo. Las primeras cuatro series están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$n_f = 1: \frac{1}{\lambda} = -\frac{me^2}{8\varepsilon_0^2 ch^2} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 2, 3, 4, \dots \quad (3)$$

$$n_f = 2: \frac{1}{\lambda} = -\frac{me^2}{8\varepsilon_0^2 ch^2} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 3, 4, 5, \dots \quad (4)$$

$$n_f = 3: \frac{1}{\lambda} = -\frac{me^2}{8\varepsilon_0^2 ch^2} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 4, 5, 6, \dots \quad (5)$$

$$n_f = 4: \frac{1}{\lambda} = -\frac{me^2}{8\varepsilon_0^2 ch^2} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 5, 6, 7, \dots \quad (6)$$

Dónde:

- e es la carga del electrón
- m la masa del electrón
- c la velocidad de la luz
- h la constante de Planck
- ε_0 la permitividad en el vacío

Y

$$\frac{me^2}{8\epsilon_0^2ch^2} = 1.097 \times 10^7 m^{-1} = R = \text{Constante de Rydberg} \quad (7)$$

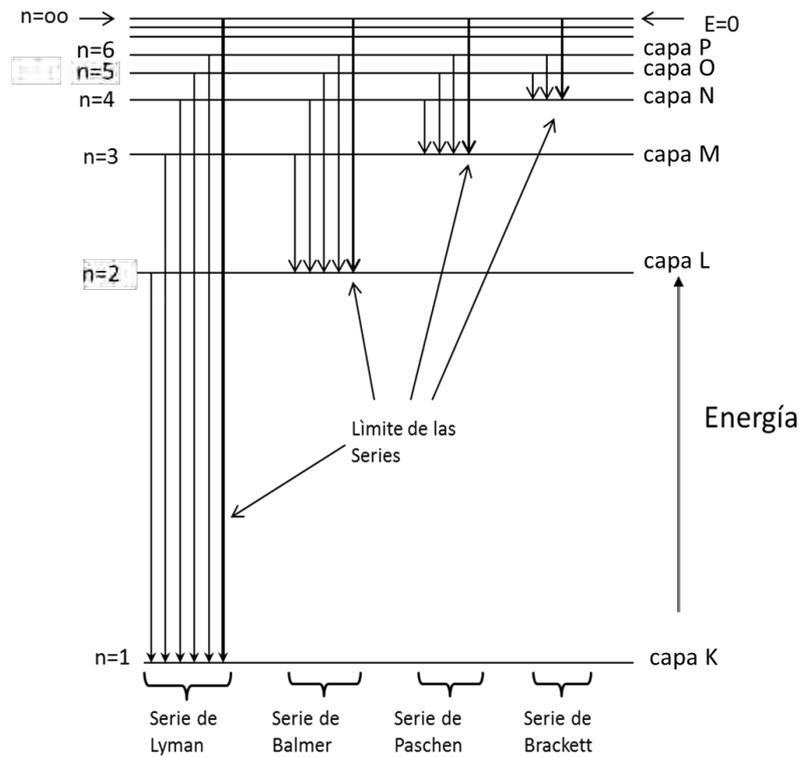


Figura 4: Líneas espectrales originadas en las transiciones entre niveles de energía

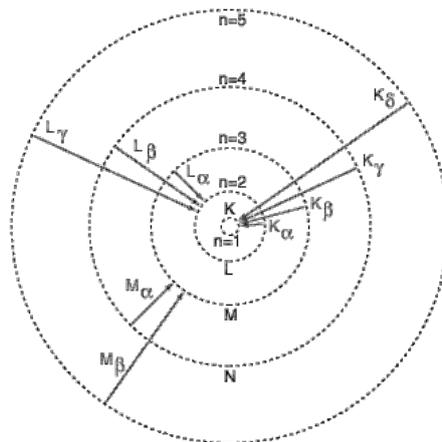


Figura 5: Diagrama de las transiciones de electrones entre los niveles energéticos de un átomo (14).

Moléculas

Una molécula es un agregado de, por lo menos, dos átomos en una colocación definitiva que se mantienen unidos a través de fuerzas químicas (también llamadas enlaces químicos) (15). Cada molécula tiene un tamaño definido y puede contener átomos del mismo elemento o átomos de dos o más elementos, siempre en una proporción fija. Una molécula no siempre es un compuesto, una sustancia que está compuesta por moléculas que tienen dos o más elementos químicos, se llama compuesto químico.

Las moléculas pueden estar compuestas de dos o más átomos, pueden estar constituidas por átomos de un mismo elemento, como el ozono (O_3), que está formado por tres átomos de oxígeno, o bien pueden ser combinaciones de dos o más elementos diferentes. Las moléculas que contienen más de dos átomos reciben el nombre de moléculas poliatómicas. Al igual que el ozono (O_3), el agua (H_2O) y el amoníaco (NH_3), son moléculas poliatómicas.

Los isómeros son tipos de moléculas que comparten la misma fórmula química, pero que tienen diferente estructura, resultando en propiedades distintas. Se clasifican en isómeros estructurales y estereoisómeros. Los isómeros estructurales difieren en la forma de unión de sus átomos y se clasifican en isómeros de cadena, posición y función. En los estereoisómeros los átomos están conectados de igual manera en ambas moléculas. La diferencia radica en la distinta orientación espacial de los átomos o grupos de átomos. Los estereoisómeros se clasifican en isómeros geométricos (cis-trans), enantiómeros y diastereoisómeros.

Estructura molecular (15)

La estructura molecular se refiere a la disposición tridimensional de los átomos que constituyen una molécula. Determina muchas de las propiedades de las moléculas, reactividad, polaridad, fase, color, magnetismo, actividad biológica, etc. La posición de cada átomo se determina por la naturaleza de los enlaces químicos con los que se conecta a sus átomos vecinos. La geometría molecular puede describirse por las posiciones de estos átomos en el espacio, mencionando la longitud de enlace de dos átomos unidos, ángulo de enlace de tres átomos conectados y ángulo de torsión de tres enlaces consecutivos.

La geometría molecular se refiere a la ordenación espacial de los átomos en una molécula (incluyendo distancias de enlace y ángulos de enlace) y los enlaces químicos que mantienen unidos a los átomos. La geometría molecular debe explicar la forma de las moléculas más simples como las de oxígeno o nitrógeno diatómicas, hasta las más complejas, como una molécula de proteína o de ADN. Con este término también podemos referirnos a estructuras donde no existen moléculas propiamente dichas. Una vez conocida o supuesta la estructura química de una molécula es posible representarla mediante modelos.

La estructura química de una sustancia química aporta información sobre el modo en que se enlazan los diferentes átomos o que forman una molécula, o agregado atómico. Incluye la geometría molecular, la configuración electrónica y, en su caso, la estructura cristalina .

Enlaces químicos (15)

Un enlace químico es la unión de dos átomos que se han unido con un solo fin, alcanzar la estabilidad, tratar de parecerse al gas noble más cercano; para la mayoría de los elementos alcanzar ocho electrones en su último nivel.

Si los átomos enlazados son elementos metálicos, el enlace se llama metálico. Los electrones son compartidos por los átomos, pero pueden moverse a través del sólido proporcionando conductividad térmica y eléctrica, brillo, maleabilidad y ductilidad.

Si los átomos enlazados son no metales e idénticos (como en N_2 o en O_2), los electrones son compartidos por igual por los dos átomos, y el enlace se llama covalente apolar. Si los átomos son no metales pero distintos (como en el óxido nítrico, NO), los electrones son compartidos en forma desigual y el enlace se llama covalente polar -polar porque la molécula tiene un polo eléctrico positivo y otro negativo, y covalente porque los átomos comparten los electrones, aunque sea en forma desigual. Estas sustancias no conducen la electricidad, ni tienen brillo, ductilidad o maleabilidad.

Cuando una molécula de una sustancia contiene átomos de metales y no metales, los electrones son atraídos con más fuerza por los no metales, que se transforman en iones con carga negativa; los metales, a su vez, se convierten en iones con carga positiva. Entonces, los iones de diferente signo se atraen electrostáticamente, formando enlaces iónicos. Las sustancias iónicas conducen la electricidad cuando están en estado líquido o en disoluciones acuosas, pero no en estado cristalino, porque los iones individuales son demasiado grandes para moverse libremente a través del cristal.

Cuando los electrones son compartidos simétricamente, el enlace puede ser metálico o covalente apolar; si son compartidos asimétricamente, el enlace es covalente polar; la transferencia de electrones proporciona enlace iónico. Generalmente, la tendencia a una distribución desigual de los electrones entre un par de átomos aumenta cuanto más separados están en la tabla periódica.

La unión entre los átomos se realiza mediante los electrones de la última capa exterior, que reciben el nombre de electrones de valencia. La unión consiste en que uno o más electrones de valencia de algunos de los átomos se introducen en la esfera electrónica del otro. Los gases nobles, poseen ocho electrones en su última capa, salvo el helio que tiene dos. Esta configuración electrónica les comunica inactividad química y una gran estabilidad. Todos los átomos tienen tendencia a transformar su sistema electrónico y adquirir el que poseen los gases nobles, porque ésta es la estructura más estable.

Teoría de enlaces (16)

La Teoría de repulsión de pares de electrones de valencia o Teoría de la repulsión de los pares de electrones de la capa de valencia (TRePEV o teoría RPECV) es un modelo usado en química para predecir la forma de las moléculas o iones poliatómicos y está basado en el grado de repulsión electrostática de los pares de electrones de valencia alrededor del átomo. También es llamada teoría Gillespie-Nyholm por sus dos principales desarrolladores.

La premisa de TRePEV es que los pares de electrones de valencia alrededor de un átomo se repelen mutuamente, y por lo tanto, adoptan una disposición espacial que minimiza esta repulsión, determinando la geometría molecular. El número de pares de electrones de valencia alrededor de un átomo, tanto enlazantes como no enlazantes, se denomina número estérico.

La teoría TRPEV es generalmente comparada y contrastada con la teoría del enlace de valencia, que se ocupa de la forma molecular a través de orbitales que son energéticamente accesibles para formar enlaces. La teoría de los orbitales moleculares es otro modelo para la comprensión de cómo los átomos y los electrones se ensamblan en moléculas e iones poliatómicos mediante la formación de orbitales moleculares.

La TRPECV (Teoría de Repulsión de Pares de Electrones de la Capa de Valencia) está basada en la idea de que la geometría de una molécula o ion poliatómico del tipo AB_n , donde A es el átomo central y B los átomos periféricos o ligados, está condicionada principalmente por la repulsión de tipo coulombiana entre los pares de electrones de la capa de valencia alrededor del átomo central.

La geometría predicha es aquella que proporciona a los pares de electrones de la capa de valencia la energía mínima. Los pares de electrones pueden ser de dos tipos dependiendo de si forman parte, o no, de un enlace, clasificándose en pares de enlace y pares sueltos, (también denominados pares libres, o pares no enlazantes).

Existen tres tipos de interacciones repulsivas entre los pares de electrones de una molécula: *par no enlazante - par no enlazante* (PNE-PNE), *par no enlazante - par enlazante* (PNE-PE), *par enlazante - par enlazante* (PE-PE, cada una más débil que la anterior. Cada repulsión con un determinado valor de intensidad. Entonces, el ángulo que formen dos pares enlazantes será más pequeño que el formado por los pares (PNE-PE) y éste a su vez más pequeño que el formado por los pares (PNE-PNE).

Momento dipolar

Como lo hemos visto anteriormente, los átomos y moléculas están formados por unidades de carga, electrones, protones, etc. Los cuales son estudiados a través de la Mecánica Cuántica de tal manera que se pueda describir el comportamiento electrónico y magnético de dichos sistemas.

El momento dipolar (μ), surge de la existencia de dos partículas cargadas, una con carga positiva y otra con carga negativa, localizadas en dos puntos distintos del espacio, y que se define matemáticamente como el producto de la carga negativa (por convenio) por la distancia que separa las cargas. El momento dipolar es una cantidad vectorial que se suele representar por la ecuación

$$\vec{\mu} = q\vec{r} \quad (8)$$

La neutralidad eléctrica se mantiene cuando las cargas eléctricas en ambos extremos de la molécula son iguales en magnitud pero de sentido opuesto. Usualmente se encuentra expresado en Debyes (1 D = 1 A 1 ues) (17).

INTERACCIÓN CON LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS CON LA MATERIA

Al interactuar la radiación electromagnética con la materia, dicha interacción da paso, entre otros, a los siguientes fenómenos:

- Reflexión y Refracción
- Absorción
- Emisión

- Efecto Fotoeléctrico
- Efecto Compton
- Producción de Pares
- Dispersión
- Atenuación

Dichos fenómenos se deben a la interacción de los campos eléctrico y magnético que conforman la radiación electromagnética con las cargas de los átomos que componen el medio material. Cuando una onda electromagnética de frecuencia ν incide sobre el átomo, los campos eléctrico y magnético de la onda ejercerán una fuerza sobre los electrones y éstos se acelerarán, radiando a su vez ondas electromagnéticas. La radiación reemitida por el átomo dependerá en amplitud y fase, muy fundamentalmente, de la relación entre la frecuencia de la onda ν y la frecuencia natural de los electrones, ν' .

Reflexión y Refracción (8)

Cuando hacemos incidir radiación electromagnética de alta densidad sobre la materia y los átomos de ésta están relativamente ordenados, en este caso si la frecuencia de la radiación incidente, ν , está cerca o alejada de la frecuencia de resonancia de los átomos o moléculas que componen el material, ν' , la radiación incidente será refractada o absorbida. En el caso de que la onda sea refractada, quiere decir que la radiación electromagnética cambia de dirección al interactuar con el medio material, en este caso podemos ver que se producen dos ondas distintas debido a este cambio de dirección, la radiación que se propaga por el material, a un ángulo diferente de la radiación incidente se le llama onda refractada y a la radiación que se propaga en el mismo medio que el de la onda incidente se le llama onda reflejada. La radiación incidente y la reflejada se propagan en la misma dirección con respecto a la normal, mientras que la radiación refractada lo hace en una dirección determinada por la Ley de Snell, dicha dirección depende del índice de refracción (n_i) del material sobre el que se hace incidir la radiación.

$$n_1 = n_2 \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} \quad (9)$$

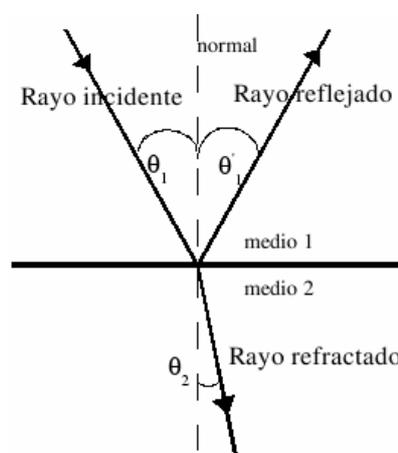


Figura 6: Esquema de la interacción electromagnética al pasar de un medio a otro (18)

Absorción (19) (20)

Cuando la radiación atraviesa una capa de un sólido, líquido o gas, es posible eliminar en forma selectiva ciertas frecuencias de la radiación incidente mediante absorción, en dicho proceso, la energía de las ondas electromagnéticas se trasfiere a los átomos, moléculas o iones, que componen el material. El aumento de energía de estas partículas provoca que las partículas pasen de un estado inicial, o base, a un estado de configuración energética mayor, es decir a un estado excitado.

De acuerdo con la teoría cuántica, los átomos, moléculas e iones sólo tienen una cantidad limitada de niveles energéticos discretos. Lo que significa que para que se dé la absorción de radiación, la energía del fotón incidente, responsable de la excitación debe corresponder exactamente con la diferencia de energía entre el estado base y uno de los estados excitados de la partícula que absorbe dicho fotón.

Cuando la radiación electromagnética incide sobre un material y la frecuencia de dicha onda coincide o es cercana a la frecuencia de resonancia de los átomos o moléculas que componen dicho material, la onda es absorbida debido a que la transferencia de energía de la onda a un electrón ligado es muy eficaz. En dichos casos la radiación electromagnética sólo necesita penetrar unas cuantas longitudes de onda para comenzar a debilitarse y eventualmente extinguirse. Es decir, la energía de la radiación que incide sobre el material se convierte irreversiblemente a energía cinética de los iones del material, los cuales vibran en torno a su posición de equilibrio. Se dice entonces que la onda ha sido absorbida.

La diferencia entre niveles energéticos permitidos es única para cada átomo, molécula e ion, por lo que el estudio de las frecuencias de radiación absorbida proporciona información importante para el estudio de los distintos materiales que componen una muestra de materia. La radiación absorbida se conoce como espectro de absorción, el cual se suele representar en una gráfica en función de su frecuencia o longitud de onda, dichos espectros pueden ser de tres tipos: de líneas, de bandas o continuo.

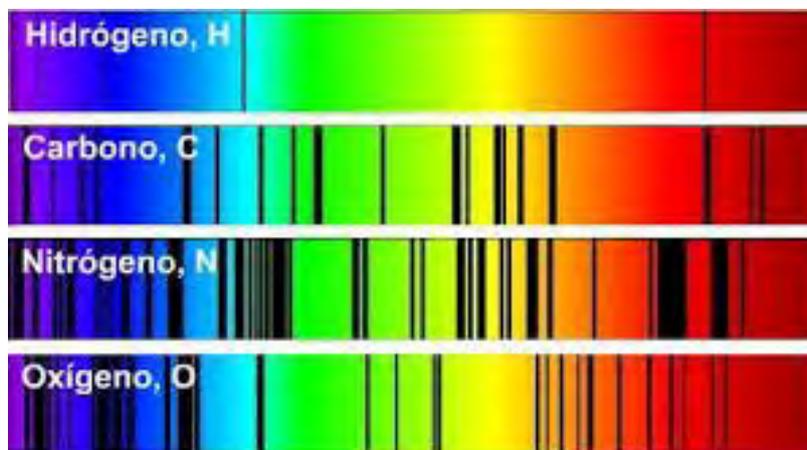


Figura 7: Espectros de absorción de Luz visible de algunos elementos (21).

Emisión (19) (20)

La radiación electromagnética se produce cuando partículas excitadas, ya sean, átomos, moléculas o iones, se desexcitan pasando a un estado de menor energía cediendo al exterior la cantidad necesaria de ésta para ocupar el nivel energético inferior permitido, dicha energía es cedida al exterior en forma de fotones. Existen diferentes formas de excitar una partícula y dichas formas producen emisiones electromagnéticas de diferentes tipos, por ejemplo:

- Radiación Térmica. Es la radiación continua que se emite cuando los sólidos se calientan hasta la incandescencia, se debe a innumerables oscilaciones atómicas y moleculares excitadas en el sólido condensado por causa de la energía térmica. Los instrumentos analíticos utilizan sólidos calentados para producir radiación infrarroja, visible y del ultravioleta cercano.
- Emisión de Rayos-X. Se genera bombardeando un blanco metálico con una corriente de electrones acelerados, que producen que los electrones internos de los átomos del blanco alcancen niveles de energía superiores o sean expulsados por completo, al regresar a su estado basal, se emiten fotones.
- Fluorescencia y Fosforescencia. Son procesos de emisión en donde los átomos se excitan por absorción de radiación electromagnética. La fluorescencia ocurre más rápidamente que la fosforescencia y suele finalizar a unos 10^{-5} s o menos. La fosforescencia tiene lugar durante períodos más largos y puede durar horas después que la radiación cese.

La radiación emitida por partículas excitadas se conoce como espectro de emisión, el cual se suele representar en una gráfica en función de su frecuencia o longitud de onda, dichos espectros pueden ser de tres tipos: de líneas, de bandas o continuo.

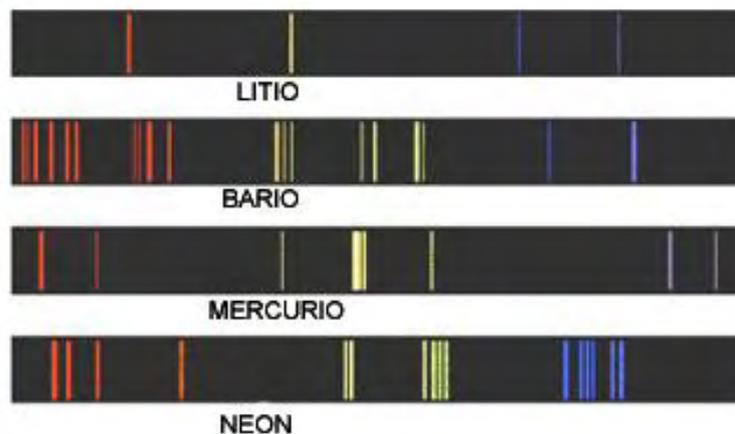


Figura 8: Espectros de emisión de Luz visible de varios elementos (22).

Efecto Fotoeléctrico (10).

A principios del siglo XIX varios experimentos pusieron en evidencia un hecho hasta entonces desconocido. Los científicos se dieron cuenta que si hacían incidir un haz de radiación electromagnética, cuya energía fuera lo suficientemente fuerte, las superficies metálicas (no metales alcalinos) emitían electrones. A dicho fenómeno se le conoce como Efecto Fotoeléctrico.

La existencia de este fenómeno no debe de sorprendernos ya que como se dijo anteriormente las ondas electromagnéticas son capaces de imprimir energía a los electrones. Si esta energía es más grande que

la energía de ionización, parte de la energía absorbida se convierte en energía cinética. A los electrones que son emitidos de esta manera se les conoce como fotoelectrones.

Uno de los aspectos que se observó al momento de realizar los experimentos que dieron paso al descubrimiento del efecto fotoeléctrico fue el hecho de que la energía cinética de los electrones emitidos era independiente de la intensidad de la radiación electromagnética al que el material había sido expuesto. Ciertamente es que entre más intensa sea la radiación electromagnética utilizada, más fotoelectrones serán emitidos pero la energía media de dichos electrones será la misma. Para cada metal existe una frecuencia crítica, para la cual si la radiación electromagnética utilizada tiene menor frecuencia que esta, ningún fotoelectrón será emitido. Por encima de la frecuencia crítica, los fotoelectrones tienen un margen de energía que va de los 0 a un máximo de energía que aumenta de manera directamente proporcional a la frecuencia utilizada. Podemos decir entonces que si se utiliza luz azul tenue, esta producirá fotoelectrones más energéticos que la luz roja brillante pero esta última producirá un número mayor de éstos.

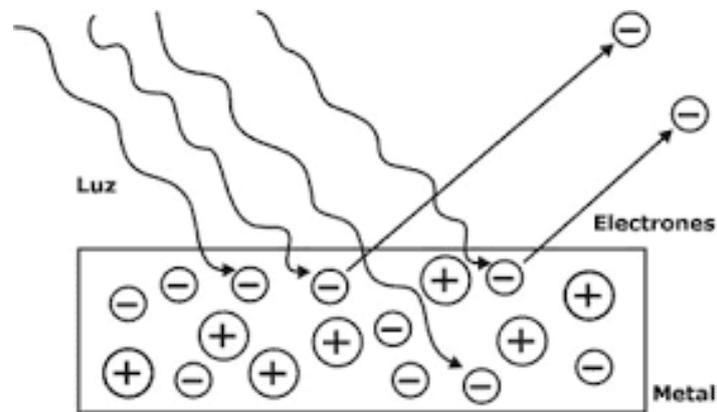


Figura 9: Esquema del Efecto Fotoeléctrico (23).

Efecto Compton (10)

La teoría cuántica de la luz nos dice que los fotones se comportan como partículas, a no ser por la ausencia de masa en reposo. Si tomamos esto como cierto, podemos fácilmente estudiar el choque entre fotones y electrones de una manera muy sencilla utilizando como base la mecánica elemental. Cuando se analiza la radiación electromagnética que ha pasado por una región en la que hay electrones libres, se observa que además de la radiación incidente, hay otra de frecuencia menor. El efecto Compton (o dispersión Compton) consiste en el aumento de la longitud de onda de un fotón cuando choca con un electrón libre y pierde parte de su energía. La frecuencia o la longitud de onda de la radiación dispersada dependen únicamente del ángulo de dispersión.

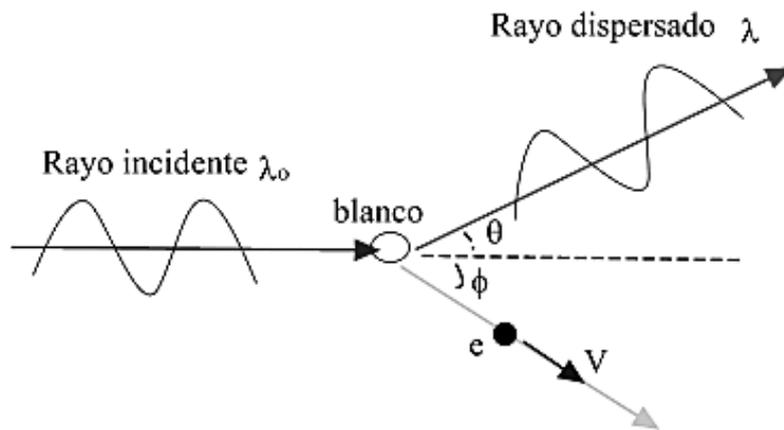


Figura 10: Diagrama del Efecto Compton (24)

A diferencia de la energía, el momentum es una cantidad vectorial, la cual se debe conservar en cada una de las direcciones perpendiculares entre sí. Como la frecuencia del fotón dispersado por una masa en reposo disminuye, se espera una variación en la longitud de onda del mismo. A esta nueva longitud de onda se le conoce como longitud de onda de Compton. La ecuación que describe el efecto Compton está dada por la siguiente expresión:

$$\lambda - \lambda' = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad (10)$$

Al deducir la ecuación anterior suponemos que la partícula que es dispersada tiene libertad de movimiento, esto debido a que muchos de los electrones están unidos al átomo de manera muy débil lo que facilita que sean removidos del mismo. Sin embargo, ciertos electrones se encuentran firmemente unidos al átomo, lo que provoca que al ser bombardeados con radiación electromagnética sea el átomo entero el que experimente un retroceso. Como la masa del átomo es miles de veces mayor que la del electrón, esta variación del efecto Compton es demasiado pequeña como para ser perceptible.

Producción de Pares.

Así cómo es posible que los fotones cedan toda o parte de su energía a los electrones, también es posible que los fotones se materialicen en forma de un electrón y un positrón (un electrón con carga positiva), en dicho proceso la energía electromagnética se transforma en energía en reposo. Los principios de conservación no se violan cuando un par electrón-positrón se crea cerca de un núcleo atómico, ya que la suma de las cargas del electrón y el positrón es cero, al igual que la carga del fotón; a su vez, la energía total, la energía de masa del electrón y del positrón al ser sumadas es igual a la energía del fotón.

Así mismo, el momento lineal se conserva gracias al núcleo del átomo que lleva suficiente momentum del fotón como para que el proceso de producción de pares ocurra. Pero debido a la inmensidad de su masa con respecto a la del fotón, el núcleo sólo obtiene una fracción de su energía, la cual es totalmente despreciable. La producción de pares no se puede llevar a cabo en el vacío ya que ahí no es posible que se conserve ni el momentum lineal ni la energía (25).

El proceso inverso a la producción de pares se presenta cuando un electrón y un positrón, al juntarse se anulan y crean un par de fotones. La dirección de dichos fotones es tal que se conservan tanto la energía como el momentum lineal; dicha interacción no requiere de un núcleo o alguna otra partícula para llevarse a cabo.

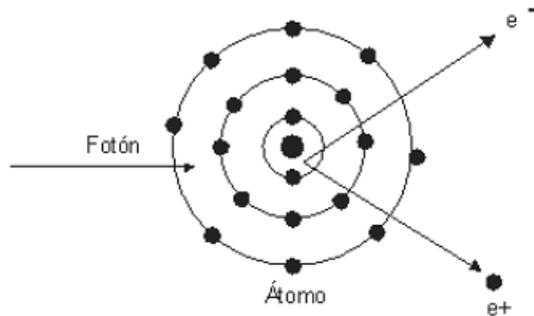


Figura 11: Diagrama de la producción de pares (26)

Dispersión (27)

En física se denomina dispersión al fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material. Todos los medios materiales son más o menos dispersivos, y la dispersión afecta a todas las ondas. La dispersión de la radiación electromagnética al interactuar con la materia abarca dos tipos: la dispersión elástica y la inelástica, las cuales son el fundamento para varias técnicas de estudio y aplicaciones.

La dispersión elástica o de Rayleigh consiste como su nombre lo dice, en la dispersión elástica de los fotones de baja energía por el átomo. Dicha dispersión ocurre siempre y cuando las partículas con las que la radiación electromagnética interactúa sean menores o iguales que el de la longitud de onda de los fotones dispersados, si el tamaño de las partículas es mayor que el de la longitud de onda, la radiación no se separa.

En este proceso, los electrones oscilan siguiendo el campo electromagnético incidente produciendo la radiación de un campo de la misma frecuencia. La radiación producida por cada electrón se suma a la de los otros para dar lugar a una onda electromagnética emergente. Es decir, es el resultado de la polarización de las partículas. La dispersión de Rayleigh ocurre cuando la radiación electromagnética viaja por sólidos y fluidos pero se observa con mayor frecuencia en los gases.

Debido al carácter elástico de dicho proceso, los fotones no pierden energía sino que solo cambian su dirección sin que se lleve a cabo ionización alguna o excitación de los átomos. Así mismo, la dependencia angular de la dispersión de Rayleigh depende de la energía y del número atómico del material que se desea estudiar. Generalmente, a altas energías los fotones se dispersan en ángulos muy pequeños.

La dispersión Raman o efecto Raman es la dispersión inelástica de un fotón. Cuando la luz es dispersada por un átomo o molécula la mayoría de los fotones son dispersados de manera elástica, es decir, los fotones dispersados tienen la misma energía, la misma frecuencia y longitud de onda que los fotones incidentes. Sin embargo, una pequeña fracción de la luz incidente es dispersada a una frecuencia

diferente; en la mayoría de los casos los fotones se dispersan con una frecuencia inferior que los fotones incidentes.

El efecto Raman se define como la absorción y la consecuente emisión de un fotón mediante un cambio de estado intermedio de un electrón, pasando por un estado virtual, dando paso a las siguientes posibilidades.

- las moléculas absorben la energía, a esto se denomina dispersión Stokes. El fotón resultante emitido es de una frecuencia inferior al fotón incidente y genera una línea de Stokes en el lado rojo del espectro incidente.
- La molécula pierde energía, dispersión Anti-Stokes. Los fotones incidentes son desplazados a frecuencias más elevadas del espectro y generan una línea denominada Anti-Stokes.
- Los cambios de energía que se producen entre los estados de las moléculas y los fotones incidentes son iguales a las diferencias de los estados vibracionales o rotaciones moleculares. En algunos materiales solo ciertos estados pueden ser admitidos esto es debido a su estructura cristalina y hace que el efecto Raman sólo aparezca en ciertas frecuencias

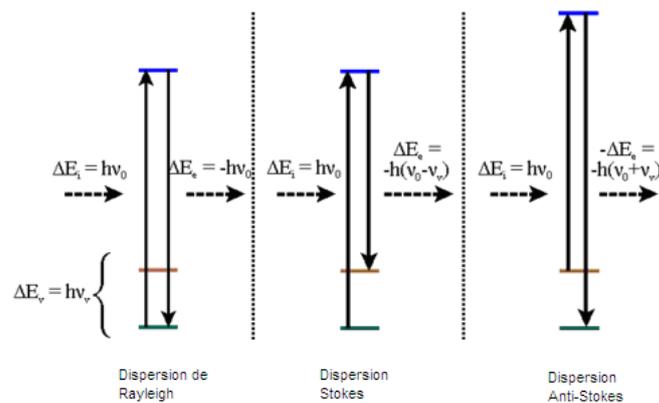


Figura 12: Diagrama de los distintos tipos de Dispersión. Modificada (28)

En la figura 12 podemos observar los diferentes tipos de dispersión que sufre la luz al interactuar con la materia, la dispersión de Rayleigh es una dispersión elástica ya que las energías de los fotones que fueron dispersados no cambia, es decir, no se presenta pérdida de energía. En la dispersión Stokes y anti- Stokes, la frecuencia de la luz dispersada corresponde a la suma y diferencia de las frecuencias de la luz incidente y las frecuencias vibracionales moleculares permitida. Si la luz incidente pierde una cantidad de energía equivalente a la necesaria para que una molécula cambie su modo vibracional se conoce como dispersión Stokes. Si la energía de la luz dispersada es mayor que la de la luz incidente quiere decir que una molécula que se encontraba en un estado excitado perdió energía regresando así a su estado base dando paso a la dispersión anti –Stokes.

Atenuación (29)

Como hemos explicado anteriormente, la radiación electromagnética interactúa de diferentes formas con la materia, dando como resultado diferentes fenómenos que nos ayudan en la identificación de los materiales con los que la materia está compuesto. Pero cuando se habla de la capacidad de una onda electromagnética de penetrar en un material nos enfrentamos a un aspecto totalmente diferente. Cuando hablamos de la capacidad de una onda de penetrar un material se dice que la onda va

atenuándose conforme ésta viaja a través del material. A este fenómeno se le conoce como atenuación y depende del material y el tipo de onda, es decir un material puede ser transparente y opaco dependiendo de la radiación electromagnética incidente, por ejemplo, un material puede no dejar pasar la radiación ultravioleta, pero si la luz visible, por lo tanto es opaco a la primera y transparente a la segunda.

Lo que ocurre cuando una onda electromagnética es atenuada por un material es que ésta va cediendo energía al material conforme avanza a través de él; es como si la onda electromagnética se fuera desgastando. Cuando se produce la atenuación de una onda, la intensidad de esta, a la cual se denomina I , se expresa por la ecuación

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (10)$$

Donde I_0 es la intensidad de la onda incidente, α es el coeficiente de atenuación del medio material que interacciona con la onda electromagnética y mide la rapidez con la que se reduce la intensidad de una onda electromagnética cuando se propaga por dicho medio, x es la distancia recorrida por la onda dentro del medio material a un tiempo determinado.

En la siguiente imagen podemos apreciar la representación gráfica de la ecuación anterior. Se observa que a medida que la onda avanza en la distancia, x , dentro de un material, la intensidad de la onda va decreciendo de manera exponencial, de tal manera que llegará un punto donde la onda haya cedido toda su energía al material con el que interactúa; entre más grande sea el coeficiente de atenuación del material, α , con el que interactúa una onda electromagnética, más rápido cederá su energía al material y la onda se atenuará más rápidamente.

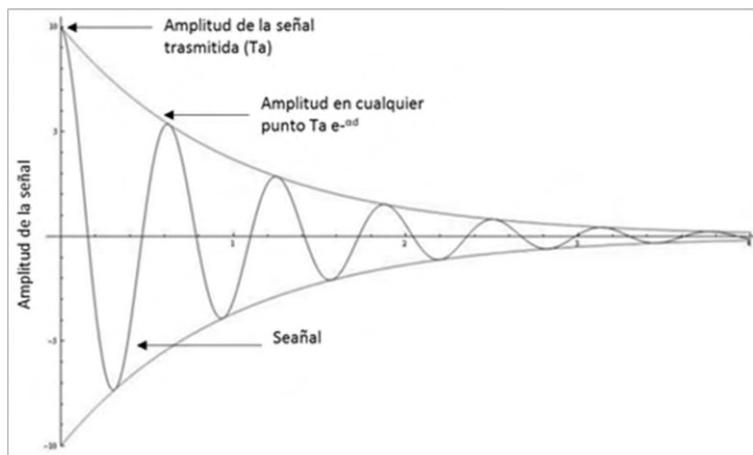


Figura 13: Representación gráfica de la reducción de la intensidad de una onda a causa de la atenuación por parte del medio (30).

Un hecho interesante es que a veces las ondas electromagnéticas tienen la capacidad de penetrar dentro de un material sin experimentar pérdidas significativas, es decir, una onda recorre una distancia significativamente grande y no presenta una atenuación significativa, dicho fenómeno ocurre cuando el coeficiente de atenuación, α , es de un valor muy pequeño.

Como ya mencionamos anteriormente, la atenuación de una onda electromagnética depende tanto de las características de la onda como de las del material con el que interactúa. Para poder hacer una comparación de la capacidad de penetración de las ondas electromagnéticas al interactuar con diferentes materiales se define un parámetro conocido como *profundidad de penetración*, δ , y se define como el

valor inverso del coeficiente de atenuación, dicho parámetro depende tanto de las características del material como las de la onda que lo atraviesa

$$\delta = \frac{1}{\alpha} \quad (11)$$

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\sigma f \mu \pi}} \quad (12)$$

Los parámetros que componen la ecuación anterior son:

- Conductividad del medio (α). Entre mejor conductor sea el medio, menos será la distancia que una onda electromagnética penetre dentro del material. Por el contrario, en un medio dieléctrico, donde la conductividad es demasiado pequeña, una onda electromagnética puede penetrar prácticamente de manera indefinida.
- Permeabilidad magnética del medio (μ). Cuanto más magnético es el medio, menor será la profundidad de penetración (δ). Así, por ejemplo, una onda será atenuada mucho más rápido por un material ferromagnético que en uno no ferromagnético
- La frecuencia de la onda que se propaga (f). Este factor depende de las características de la onda que se propaga y no del medio. Como podemos observar en la ecuación anterior, cuanto más alta sea la frecuencia, menos es la profundidad de penetración (δ), por lo tanto, las ondas de baja frecuencia tendrán una atenuación más pequeña y una penetración mucho más grande en el medio que aquellas con frecuencias más altas.
- Permeabilidad del material. La capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través de ella campos magnéticos. Está dada por la relación entre la inducción magnética existente y la intensidad de campo magnético que aparece en el interior de dicho material.

Excitación atómica (10)

Existen dos mecanismos para excitar a un átomo a un nivel de energía superior al de su estado base de tal manera que éste sea capaz de emitir energía.

El primero de ellos es hacerlo chocar con otra partícula, de modo que parte de la energía cinética de dicho choque sea absorbida por el átomo. Después de cierto tiempo el átomo, al encontrarse en un estado inestable, se deshará de la energía extra emitiendo uno o varios fotones. Las lámparas de sales de neón o de vapor de mercurio son ejemplo familiares de cómo al acelerar los átomos mediante un campo eléctrico conducen a la emisión espectral característica de dichos elementos.

La segunda forma de llevar a un átomo a un estado excitado es mediante la absorción de un fotón. Cuando un átomo absorbe un fotón, este le proporciona la cantidad de energía exacta que se necesita para elevar al átomo a un nivel de energía superior. Este proceso da paso a los espectros de absorción los cuales se podrían describir como espectros electromagnéticos con líneas faltantes, dichas líneas son características de cada átomo.

El estado excitado de un átomo es un estado cuántico metaestable, por lo que el átomo volverá a su estado fundamental, el cual es estable, mediante la emisión de uno o más fotones. La mayoría de las veces estos salen emitidos en direcciones totalmente aleatorias y solamente unos cuantos lo hacen en la misma dirección que la del haz con el que los átomos fueron irradiados. Cuando el paso a un nivel de energía inferior va acompañado de la emisión de fotones de átomos en distintos estados excitados se puede observar un espectro de emisión cuyas líneas son características de cada átomo.

Los espectros atómicos son la única forma que hay para investigar la existencia de niveles discretos de energía dentro de un átomo. En 1914, Frank Hertz realizó una serie de experimentos utilizando el choque entre átomos como mecanismo de excitación. Dichos experimentos demostraron la existencia de los niveles de energéticos del átomo, así como el hecho de que las líneas espectrales tienen la misma energía que dichos niveles. Los espectros atómicos también son muy útiles en el estudio de la composición química de materiales, lo cual permite realizar dichos estudios de una manera no invasiva.

CAPÍTULO 2: TÉCNICAS ANALÍTICAS

El análisis mediante métodos científicos de piezas de arte con importancia artística e histórica ha cobrado importancia a lo largo del tiempo, tomando gran relevancia de la segunda mitad del siglo XX a la fecha, convirtiéndose en una herramienta de gran importancia para la Historia del Arte, así como para las áreas de la ciencia que realizan este tipo de estudios (31). El objetivo de que las ciencias exactas incursionen de manera tan importante en el estudio de obras de arte es que mediante la utilización de los distintos métodos que estas utilizan para analizar los diferentes tipos de materiales podemos llegar a obtener mejores respuestas a las preguntas de ¿Cuándo?, ¿Cómo? y ¿Dónde? de una pieza, así como el hecho de que se obtiene mejor información acerca de los materiales con los que estas fueron fabricadas (32).

Cabe destacar que el uso de las técnicas de estudio no destructivas utilizadas para el estudio del patrimonio cultural obedecen a la necesidad de llevar a cabo estudios previos a la restauración y conservación de los bienes culturales, dichos estudios proveen información que ayuda a elegir los procedimientos y materiales más adecuados para la intervención de las obras de arte. Estos métodos ocupan una parte importante en estas ramas de la investigación ya que estas técnicas no “fragmentan” las piezas a estudiar, es decir, la pieza que se desea estudiar no sufre ningún daño o solo es víctima de un daño imperceptible, permitiendo así que éstas se conserven en el estado en el que se encuentran.

Los métodos analíticos consisten en métodos de imagen, no destructivos y destructivos (33); para el objetivo de este trabajo se utilizaran solamente técnicas de imagen y métodos no destructivos. Las técnicas de estudio no destructivas se basan esencialmente en el uso de diferentes regiones del espectro electromagnético, tanto las visibles como las no visibles para el ojo humano. Para los estudios realizados con radiación no perceptible al ojo humano es necesario trasladar dicha radiación a un rango visible del espectro electromagnético ya que aunque no parezca, radiaciones como la infrarroja y ultravioleta pueden darnos información relevante para el estudio de las obras de arte como lo son los repintes, dibujos subyacentes proceso de ejecución, así como el estado de conservación de una obra de arte. Además, pueden revelarnos información importante sobre la evolución en el tiempo de los materiales que la constituyen (34), despejar dudas sobre la tecnología que se utilizó para elaborar las piezas que se están estudiando.

Los métodos de análisis que utilizan la radiación electromagnética como herramienta de estudio también se conocen como métodos ópticos de análisis ya que miden la radiación electromagnética que es absorbida o emitida por los materiales a estudiar, es decir, estos estudios se basan en los diferentes tipos de interacción de la radiación electromagnética con las muestras de interés (33). Para dar paso a la explicación de los diferentes métodos de estudio que se utilizaron para llevar a cabo este trabajo de tesis, resulta adecuado dividirlos en dos tipos, espectroscópicos y no espectroscópicos.

Los métodos espectroscópicos se basan en la medida de la intensidad y longitud de onda de la energía radiante. La característica común entre los métodos espectroscópicos es que los espectros miden las transiciones entre los niveles energéticos de la materia, ya sean átomos, moléculas o iones (33). Por otra parte, los métodos no espectroscópicos no se basan en las transmisiones energéticas de la materia, sino más bien en las interacciones de ésta con la radiación electromagnética. Dichas interacciones pueden producir un cambio en la dirección o en las propiedades físicas de la radiación electromagnética. Los mecanismos de interacción entre la materia y la radiación electromagnética que intervienen en los métodos de análisis no espectroscópicos son: la reflexión, la refracción, la dispersión, la interferencia, la polarización y la difracción. Los métodos ópticos de análisis más utilizados son los espectroscópicos

donde los principales mecanismos de interacción no son ni la emisión ni la absorción, sino más bien las interacciones de la radiación con la materia a nivel cuántico (33).

TÉCNICAS DE IMAGEN

Existen varias técnicas de imagen para el estudio de piezas artísticas e históricas entre las que se encuentran la fotografía con luz visible, fotografía infrarroja, imagen Infrarroja de falso color, radiografía y fluorescencia por medio de luz ultravioleta. Actualmente éstas son utilizadas en el campo de la conservación del patrimonio cultural no sólo para soportar la documentación sino también para investigar la composición de los materiales utilizados en las obras de arte (35). Debido a que las técnicas de análisis espectroscópicas utilizadas en el estudio del patrimonio cultural son básicamente puntuales, sólo nos dan información en áreas pequeñas del objeto que se busca estudiar, por eso mismo se han desarrollado diversas técnicas de imagen para tener un estudio que nos pueda dar información de la obra de manera global y en sus diferentes partes (6).

Para poder realizar un estudio completo del patrimonio cultural, la primera etapa en el estudio de las obras de arte es la observación visual. Más allá de la luz visible, el uso de rayos-X o de radiación infrarroja y ultravioleta permite descubrir otras características de las obras. La imagen obtenida mediante una radiografía de rayos-X se corresponde con una superposición de imágenes, donde las transparencias y opacidades dependen de las densidades y espesores de los materiales empleados en su ejecución, así como de la suma de todas las intervenciones posteriores, y de “arrepentimientos” del autor de la obra (35). Además, esta técnica revela cómo el artista ha fabricado el objeto, el esqueleto metálico en una estatua, clavos para asegurar el lienzo, etc. La mayor aplicación de la reflectografía de infrarrojos es la de poder contemplar y estudiar el dibujo subyacente y/o las inscripciones de las obras, es decir el proyecto de la obra sobre la capa de preparación. Por último, la iluminación ultravioleta nos permite una primera determinación del estado de conservación de la obra, revelando directamente operaciones antiguas de restauración, repintes, añadidos y barnices.

Para los fines de este trabajo se utilizaron únicamente las técnicas de fotografía de luz visible, fotografía de luz infrarroja e imagen Infrarroja de falso color por lo que sólo proporcionaremos información sobre ellas en este capítulo.

INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN INFRARROJA CON LA MATERIA (36)

La radiación infrarroja, IR, es uno de los muchos tipos de radiación que componen el espectro electromagnético. A este tipo de radiación se le conoce también como radiación térmica, ya que es emitida por objetos que emiten calor. La radiación infrarroja es clasificada de acuerdo a su longitud de onda, del siguiente modo:

- infrarrojo cercano (de 750 nm a 2500 nm)
- infrarrojo medio (de 2.5 μm a 50 μm)
- infrarrojo lejano (de 50 μm a 1000 μm)

La radiación infrarroja es emitida por todo objeto cuya temperatura sea mayor que el cero absoluto, Como sabemos, a la temperatura de cero absoluto todos los movimientos moleculares han cesado lo que nos hace inferir que entre más alta sea la temperatura de un cuerpo más radiación infrarroja es capaz de emitir.

La radiación en el infrarrojo no es lo suficientemente energética como para producir la clase de trasmisiones electrónicas que se dan cuando la radiación ultravioleta, visible y rayos X inciden sobre la materia. La absorción de la radiación infrarroja se limita básicamente a especies moleculares para las cuales existe una diferencia de energía muy pequeña entre los distintos estados vibracionales y rotacionales de dichas moléculas. La energía necesaria para provocar un cambio en los niveles rotacionales es muy pequeña y corresponde a radiaciones de $\lambda > 100 \mu\text{m}$ (36). Para este trabajo se utilizó luz infrarroja de una longitud de onda correspondiente a 760nm. La longitud de onda utilizada sólo provoca cambios en los modos vibracionales, menos energéticos que los rotacionales, de las moléculas y nos proveen de información cuantitativa útil para la identificación de varios grupos funcionales (33).

Para absorber la radiación infrarroja, una molécula debe sufrir un cambio en el momento dipolar como consecuencia de su movimiento rotacional o vibracional. Sólo en estas circunstancias, el campo eléctrico alterno de la radiación puede interactuar con la molécula, y provocar cambios en la amplitud de alguno de sus movimientos (36). Si la frecuencia de la radiación electromagnética incidente sobre la molécula es igual a la frecuencia de su vibración natural, tiene lugar una transferencia neta de energía y se da un cambio en la amplitud de la vibración molecular; dando paso así a la absorción de la radiación incidente. De igual manera, la rotación de las moléculas asimétricas, alrededor de sus centros de masa produce una vibración periódica en el dipolo que puede interactuar con la vibración. Como consecuencia de esto, los compuestos homonucleares no absorben la radiación infrarroja.

Tanto los niveles rotacionales como los vibracionales están cuantizados, y para la mayoría de las moléculas las diferencias de energía entre los estados cuantizados corresponden al infrarrojo medio. Las posiciones relativas de los átomos en una molécula no son fijas sino que fluctúan continuamente como consecuencia de un sin fin de vibraciones y rotaciones en torno a los enlaces de la molécula. Entre más sencilla es una molécula es más fácil definir el número y la naturaleza de dichos estados vibracionales y rotacionales y relacionarlos con la energía de absorción, en cambio para una molécula poliatómica se tienen que tomar en cuenta, tanto las interacciones entre los centros de carga como el número de centros vibracionales.

Podemos distinguir dos categorías básicas de vibraciones: de tensión y de flexión. Las primeras se caracterizan por un cambio continuo en la distancia interatómica a lo largo del eje de enlace entre dos átomos. El cambio entre el ángulo entre dos enlaces es la característica principal de las vibraciones de flexión. En la siguiente imagen mostramos un esquema de los diferentes estado vibracionales. En una

molécula compuesta por más de dos átomos pueden presentarse todos los estados vibracionales del esquema.

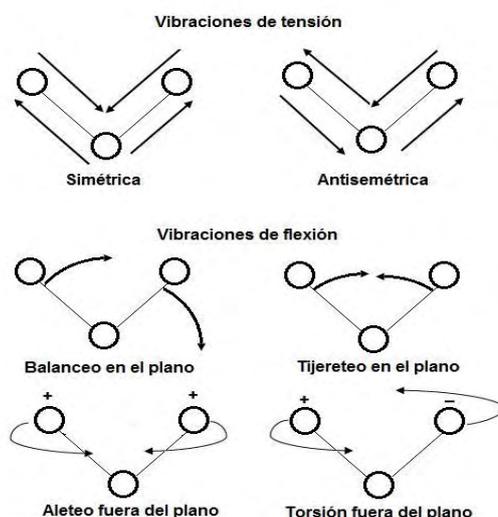


Figura 14: Esquema que muestra los tipos de vibraciones moleculares (37).

INTERACCIÓN DE LA LUZ VISIBLE CON LA MATERIA

Muchas especies en el reino animal tienen de cierta manera la capacidad de “ver”. Los humanos, vemos únicamente en la pequeña proporción del espectro electromagnético conocida como luz visible, dicha región del espectro abarca desde los 400nm hasta los 700 nm. Sin embargo, no todos los animales ven en la misma región del espectro electromagnético. Por ejemplo, las abejas suelen “ver” en el intervalo del ultravioleta cercano el cual no es visible para los humanos (38). La respuesta del cerebro humano a luz que conocemos como visible es la responsable de dar la sensación de calor, color, textura y transparencia. Lo que se suele llamar luz blanca es más bien una combinación de todas las longitudes de onda que corresponden a la luz visible y aunque nosotros tengamos la percepción de que existe, no hay una longitud de onda en el espectro electromagnético que proporcione luz blanca.

El ojo humano percibe los objetos como blancos cuando dichos objetos no dispersan la luz blanca separándola en colores. Tal es el caso del azúcar o la sal, cuyos granos están compuestos por materiales esencialmente transparentes e incoloras, donde el tamaño de los granos es pequeño para la percepción humana, pero es mucho más grande que las longitudes de onda involucradas, las cuales comprenden seis intervalos, desde la longitud de onda más corta a la más larga: rojo, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. Esto significa que en los materiales que percibimos como blancos la luz entra en cada partícula transparente, se reflejará y refractará varias veces y emergerá del cuerpo sin hacer alguna distinción entre los componentes de frecuencia y así la luz que llegue al observador será blanca. Para que un objeto parezca de un cierto color, lo único que se necesita es colorear las partículas que lo componen de tal manera que sólo refleje la longitud de onda deseada (38).

Los colores característicos de la mayor parte de las sustancias tienen su origen en los fenómenos de absorción preferencial o selectiva. Este fenómeno consiste en que los cuerpos reflejan ciertas longitudes de onda y absorben el resto, lo cual nos lleva a percibir el objeto del color correspondiente a las longitudes de onda reflejadas. Si un material absorbe la radiación de cierta longitud de onda se dice que es opaco a

esa longitud de onda y si este las trasmite de manera que la radiación electromagnética surge por otros lados del material distintos al incidente, se dice que el material es transparente a dicha radiación. La absorción de las distintas radiaciones electromagnéticas varía en cada sustancia dependiendo de su composición química y de su coeficiente de absorción, variable en función de la longitud de onda (39). Los colores se dividen en dos grandes ramas, los colores aditivos y los colores sustractivos. El color aditivo es un fenómeno en el que al adicionar más colores se obtiene más luz, más luminosidad. Al color aditivo se le suele llamar color luz, los tonos primarios del color aditivo son: azul, verde, rojo. Desde ellos se obtienen todos los colores de la naturaleza, también les son llamados RGB, el blanco puede ser creado con la fusión de los colores luz primarios.

Los colores sustractivos poseen la característica y el efecto de restar, es decir que a más colores aplicados en una superficie ésta más se oscurece. El color sustractivo ha sido el más empleado en la historia de los colores, ya fuera en la pintura artística, en las artes gráficas, en la pintura automotriz, en el hogar, etc. Para que se genere el fenómeno del color sustractivo es necesario que exista una fuente lumínica, un soporte y un pigmento. Es ideal que el soporte sea blanco para que remita con mayor facilidad la luminosidad que se busca.

Los colores primarios sustractivos, son aquellos imposibles de obtener mediante una mezcla y de ellos se obtienen los demás. Los colores primarios sustractivos son el amarillo, el rojo y el azul.

La luz visible al igual que algunos otros tipos de radiación electromagnética provoca cambios en la configuración electrónica de los átomos que son irradiados por ella. En el caso de la luz visible, ésta no ioniza los átomos lo suficiente como para observar daños en el material que está siendo irradiado como en el caso de los rayos γ . Sin embargo, la luz visible es fuertemente absorbida por la materia

IMAGEN INFRARROJA

Las imágenes infrarrojas han sido empleadas para poder obtener más información nueva sobre objetos artísticos e históricos para su preservación y restauración. La habilidad de la luz infrarroja para penetrar a través de algunos pigmentos ha permitido a los investigadores visualizar dibujos subyacentes que no pueden ser percibidos a simple vista (5), arrepentimientos (cambios en la obra realizados por el artista), entre otros. Dependiendo del tipo de radiación infrarroja que se utilice es la información que se obtiene, ya que dependiendo del tipo de radiación infrarroja que se esté utilizando es la profundidad a la que esta penetra dentro de un material. Para el estudio de imagen con radiación infrarroja suele utilizarse el infrarrojo cercano y el infrarrojo medio. Las imágenes de fotografía infrarroja son presentadas como una fotografía en escala de grises, lo cual puede ser o no un inconveniente, todo depende de lo que se quiera saber de la obra a estudiar.

Es conveniente diferenciar entre fotografía infrarroja y reflectografía infrarroja, ya que dichos términos son utilizados con diferentes acepciones. Por un lado hablamos de fotografía infrarroja como aquella realizada con equipos fotográficos con capacidades para registrar la radiación infrarroja, mientras que la reflectografía sería la aplicación de la fotografía infrarroja a la inspección o documentación de imágenes subyacentes, u otros aspectos de interés, en obra pictórica. Otra forma de abordar dichos términos es reservando el concepto más amplio de fotografía para el espectro visible y reflectografía para la radiación infrarroja. También hay autores que asocian la fotografía IR a aquella realizada por técnica y equipo fotográfico y la reflectografía por técnicas electrónicas o videográficas, aunque hoy en día con las cámaras basadas en sensores digitales, dicha clasificación ya carece de sentido (40).

La fotografía infrarroja ha evolucionado rápidamente desde su introducción al estudio de las obras de arte. Primeramente se utilizaban películas que alcanzaban a registrar los 1000nm del espectro electromagnético utilizando filtros que lograran aislar la radiación infrarroja, esto al inicio de los 30's. Décadas después, alrededor de los años 70's surge el sistema Vidicon con un intervalo de sensibilidad espectral entre los 800nm a 2200nm. Con el surgimiento de la imagen digital en la década de los 90's se incorpora la tecnología CCD con una sensibilidad de hasta 1100nm. Actualmente se utilizan sensores para imagen digital construidos con fotodetectores InGaAs (Indium Gallium Arsenic) con una sensibilidad de hasta 26000nm. La implementación de las cámaras digitales en la Reflectografía Infrarroja se ha extendido más allá de la mera observación y evaluación de los dibujos preparatorios y los arrepentimientos, al tratar de asociar los diferentes tonos de gris presentes en la imagen con los materiales que causan estas diferencias para identificarlos (35).

La fotografía infrarroja es promovida en el estudio del patrimonio cultural como una forma de "hacer visible lo invisible" (40). Sin embargo, esto está condicionado a factores como el grosor de las capas de los pigmentos, los coeficientes de absorción y dispersión de la capa pictórica, es decir, la naturaleza de la propia capa pictórica (tipo de pigmento, molienda, aglutinante, etc.) así como también a la diferencia de reflectancia entre capa de preparación y dibujo subyacente.

Una pintura usualmente se compone de distintas capas, tales como la capa pictórica, barnices, imprimatura y otros, todo dependiendo de la técnica que se haya utilizado para su realización. Dependiendo de las diferentes capas y de los pigmentos que componen una obra, ciertos tipos de longitudes de onda de la radiación infrarroja pueden llegar a capas profundas de la pintura, dibujos subyacentes u otras capas debajo (6).

Dado que con frecuencia, en obra pictórica los dibujos subyacentes son realizados con grafito o carbón sobre una capa de preparación de yeso, el contraste entre los diferentes tonos de gris que la fotografía infrarroja nos arroja es óptimo. Así mismo, el grosor de las capas de pinturas puede ser fácilmente identificado, ya que a mayor grosor de la capa de pigmento es menor la penetración, y evidentemente podemos establecer diferencias entre pigmentos que presenten diferentes comportamientos espectrales, aun presentándose como un mismo color. Mediante la observación de la radiación infrarroja reflejada es posible obtener información de las diferencias en la estructura de las capas de la pintura (6). La eficacia de esta técnica consiste en que ciertos pigmentos y capas pictóricas son más o menos permeables a las longitudes de onda de infrarrojo y la reacción de los distintos materiales a estas longitudes de onda nos da un contraste suficiente entre los dibujos subyacentes y capas de preparación.

Para llevar a cabo las fotografías de luz infrarroja se ilumina la obra utilizando focos de alta emisión térmica cuya luz se hace incidir sobre la obra lo cual provoca que ésta refleje y emita radiación debido al calentamiento que está sufriendo al ser expuesta a la luz de los focos utilizados para iluminarla. Dicha radiación infrarroja es captada por una cámara especial (Vidicon) o por una cámara fotográfica normal con filtros para luz infrarroja.

IMAGEN DE LUZ VISIBLE (40) (41)

La fotografía de luz visible es normalmente utilizada en el estudio de piezas de arte como una herramienta para el registro del estado de conservación, así como la estructura y la técnica de las obras que se desean analizar con otro tipo de métodos. La fotografía en luz visible es generalmente utilizada

como un estudio previo y complementario a los estudios que se llevan a cabo mediante el uso de métodos científicos complementando así los resultados obtenidos por estos.

Existen distintos métodos para utilizar la fotografía de luz visible en beneficio de la conservación y restauración de obras artísticas e históricas. Algunos de ellos son:

- La fotografía con luz normal tiene diferentes usos como puede ser comparar obras ubicadas en museos distantes geográficamente o documentar las diferentes fases de un tratamiento de restauración. También permite la reconstrucción de obras segregadas o equiparar las distintas versiones de un mismo trabajo y, quizás lo más importante, permite conservar la imagen de pinturas que han sido destruidas y han desaparecido.
- La fotografía con luz rasante o tangencial pone en evidencia las irregularidades de las capas pictóricas producidas por los materiales o utensilios utilizados, la textura del soporte, alteraciones y degradaciones sufridas, deformaciones, etc. y sobre todo, muestra el modo de trabajo del artista, por lo que puede ser de gran ayuda en la detección de falsificaciones.
- La macrofotografía registra a igual o mayor escala pequeñas áreas de la pintura, lo que facilita la visión de la técnica de ejecución, el estudio de detalles poco visibles como textos, firmas, etc., o de aquellos deterioros inherentes al paso del tiempo, como los craquelados que pueden confirmar la autenticidad de la obra.

En este trabajo no se presentarán resultados correspondientes al uso de la técnica fotográfica de fluorescencia de luz UV. Sin embargo, considero importante mencionar que es una técnica fotográfica muy utilizada en el estudio del patrimonio cultural. Como breve comentario diremos que bajo la luz-UV ciertos materiales que constituyen las obras, tales como la cola animal, algunos pigmentos o barnices, presentan un efecto de fluorescencia bajo la influencia de la luz ultravioleta. Dicha técnica permite la detección de materiales ajenos a la obra original, por ejemplo, repintes o modificaciones hechas después de que la obra fuera realizada, en el caso de las firmas, éstas son de suma importancia ya que permite adjudicar la obra a su autor primario. Los estudios fotográficos mediante fluorescencia de luz-UV también nos permiten reconocer el estado del barniz y aplicaciones falsas de patinas, etc.

El uso de los distintos métodos fotográficos para el estudio y reproducción del patrimonio cultural ha tenido mucha aceptación desde sus inicios en el siglo XIX, debido a que es una técnica no destructiva. La incorporación de la luz UV e Infrarroja en los años 1925 y 1960 respectivamente ha brindado un panorama más amplio que a sólo utilizar luz visible para llevar a cabo estos estudios. La técnica permite que estudiosos del arte, restauradores, y otros profesionales relacionados con el arte tengan acceso a información relevante sobre las obras, la cual puede ser de gran ayuda para ellos.

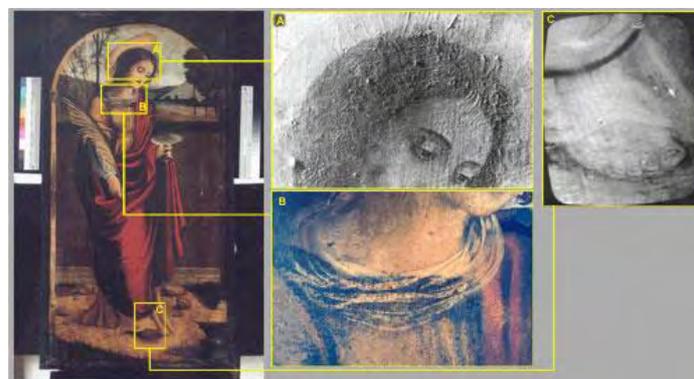


Figura 15: Vista general de la obra artística y detalles de la misma:

A: Macrofotografía con luz rasante. B: Fotografía con luz ultravioleta. C: Imagen con reflectografía infrarroja. (41)

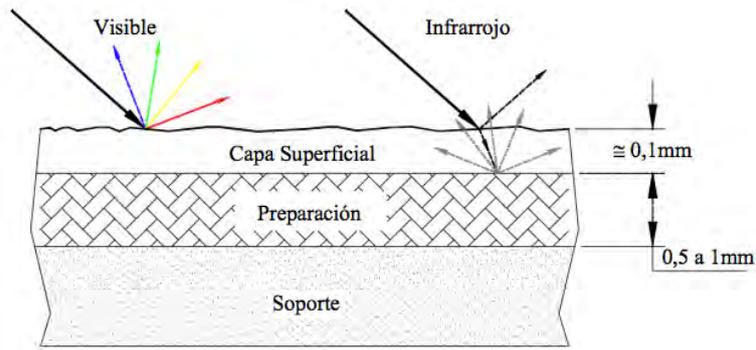


Figura 16: Esquema de la interacción entre una obra pictórica y la radiación infrarroja y visible. (40)

IMAGEN DE FALSO COLOR

La imagen infrarroja de falso color se basa en obtener una vista global de la obra para así tener un estudio previo de la misma y poder observar puntos de interés para realizar el estudio con las técnicas puntuales.

Para llevar a cabo la técnica de infrarrojo de falso color se requiere tomar las fotografías necesarias para cubrir la totalidad de la obra utilizando fotografía con luz visible y con luz infrarroja. Las fotografías de luz visible se utilizan para establecer las características físicas de la pieza analizada y del estado de conservación en el que esta se encuentra. El siguiente paso es tomar nuevas fotografías pero ahora utilizando una cámara con un filtro infrarrojo para poder captar la imagen correspondiente a la radiación infrarroja que es reflejada por la pieza, la radiación infrarroja incidente proviene de lámparas que emitan radiación infrarroja. (6)

Cuando ambos tipos de fotografía han sido tomadas, se utiliza un programa computacional especializado en la edición de fotografías (Photoshop). La información que nos brinda la técnica de falso color es obtenida superponiendo las fotografías de luz visible y luz infrarroja. La información de la radiación infrarroja es puesta en el lugar del rojo en la fotografía de Falso Color, mientras que el rojo y el verde del espectro visible se corren hacia el verde y el azul respectivamente en los canales del falso color (6); obteniendo así una imagen que contiene la información de ambas fotografías. La Técnica de falso color así como algunas técnicas de imagen mencionadas anteriormente son métodos no invasivos de análisis útiles para un estudio preliminar y muchas veces es de gran importancia para llegar a conclusiones importantes en investigaciones relacionadas con el estudio de obras de arte (4).



Figura 17: Imagen en luz visible de la pintura de María Magdalena localizada en la Iglesia de San Miguel Arcángel, Huejotzingo, Puebla¹. Fotografías por D. Ma. A.²



Figura 18: Imagen Infrarroja de la pintura de María Magdalena localizada en la Iglesia de San Miguel Arcángel, Huejotzingo, Puebla. Fotografías por D. Ma. A.



Figura 19: Imagen de falso color de la pintura de María Magdalena localizada en la Iglesia de San Miguel Arcángel, Huejotzingo, Puebla. Fotografías por D. Ma. A.

¹ La fotografía de María Magdalena se utilizó como ejemplo para ilustrar el proceso de la imagen infrarroja de falso color y los resultados obtenidos serán discutidos en capítulos posteriores

² Fotografías tomadas por Dulce María Aguilar Téllez, IF-UNAM

TÉCNICAS DE ESPECTROSCOPIA ATÓMICA

Las técnicas espectroscópicas no destructivas se basan en la observación de la interacción de la materia con la radiación electromagnética, lo que convierte a dicha interacción en el objeto de estudio (42). El análisis espectral de un sistema se basa en detectar las longitudes de onda y la frecuencia de la radiación electromagnética que es absorbida o emitida por dicho sistema (36).

Si hacemos incidir una fuente estable (de radiación intensa y continua) de radiación electromagnética sobre un sistema que se deseé estudiar y se observa que la intensidad de la radiación incidente es mayor a la de la radiación resultante, podemos decir que el sistema que estamos estudiando ha absorbido parte de la radiación incidente, es decir, el resultado es un espectro de absorción, en el cual se pueden observar las longitudes de onda eliminadas por dicho sistema. La longitud de onda en la cual el fotón incidente se absorbe es determinada por la diferencia en los niveles de energía disponibles de las diferentes sustancias presentes en el sistema (36).

Por otro lado, los átomos que componen nuestro sistema cambian de un estado excitado a un estado basal. La energía necesaria que el átomo debe perder para llevar a cabo dicha transición es transmitida al medio circundante en forma de radiación. La frecuencia de dicha radiación debe ser la misma que la de la radiación que provocó el cambio de estado, es decir, si un sistema es sometido a un estímulo en forma de radiación, los átomos de éste absorberán energía, lo que provocará que pasen de un estado base a un estado excitado. Pero como sabemos, todos los sistemas tienden a regresar a su estado base por lo que dichos átomos se desharán de la energía necesaria para regresar a dicho estado. A la radiación que reemiten los átomos al momento de pasar de un estado excitado a uno de menor energía se le conoce como espectro de emisión (36).

Tanto los espectros de emisión, así como los de absorción son considerados espectros atómicos, los cuales se producen cuando la radiación interactúa con los elementos de un sistema ya sean átomos o moléculas, dichos tipos de espectros por lo general se producen debido al cambio de energía de los diferentes estados electrónicos de la materia (42), es decir, son de tipo electrónico. Los espectros atómicos son generalmente discontinuos donde se pueden observar una serie de rayas, espectros de líneas, las cuales coinciden con las frecuencias a las que un átomo emite o absorbe luz dependiendo del tipo de espectro que se observe, dichos espectros son únicos para cada uno de los elementos de la tabla periódica, es decir, funcionan como una especie de huella digital, de esta manera es posible identificar los componentes químicos de un material analizando visualmente las líneas de sus espectros de emisión y absorción.

ESPECTROSCOPIA ATÓMICA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS –X

Propiedades de los rayos-X (43)

Como sabemos, los rayos-X es un tipo de radiación electromagnética muy energética, lo cual quiere decir que cumplen con todo lo mencionado anteriormente acerca de dicha radiación. Es decir, están compuestos por un campo magnético y un campo eléctrico variables en el tiempo, que son perpendiculares entre sí y a su vez perpendiculares a la dirección de propagación, la cual es transversal.

Las características de los rayos-X no fueron establecidas por los experimentos que dieron paso a su descubrimiento. Sin embargo, estos dieron paso al conocimiento que tenemos ahora de ellos. Actualmente sabemos con seguridad que los rayos-X son invisibles, se propagan en línea recta, no son afectados por campos eléctricos o magnéticos, no están cargados eléctricamente, pasan a través de materiales que son opacos para la luz ordinaria; son diferencialmente absorbidos por los materiales dependiendo de su densidad o del peso de sus átomos.

Ya establecidas algunas propiedades de los rayos X, algunos físicos quisieron seguir indagando en las similitudes que este tipo de radiación tenía con la que conocemos como luz ordinaria (luz visible). Tras muchos esfuerzos, propiedades como la reflexión en un espejo, la refracción al hacer incidir un haz sobre un prisma, la polarización, la difracción mediante una rejilla delgada, así como el método de producir espectros que se conocía con la luz visible no podían realizarse con los rayos- X. Tiempo después se lograron descubrir las condiciones experimentales para que dichos fenómenos fueran identificados en los rayos- X, un ejemplo de ello fue la difracción, en dicho caso no era suficiente utilizar una rejilla, sino más bien utilizar un arreglo de átomos con una arquitectura definida, donde los átomos yacían en familias de planos, los cuales toman la función de la rejilla, para así formar un arreglo tridimensional de estas.

A su vez, también se encontró que los rayos-X podían refractarse en un medio, ser polarizados y ser reflejados por un espejo, todo esto se logró estableciendo condiciones experimentales muy específicas, lo cual no es el caso con la luz visible. En el caso de la refracción, como sabemos, la luz visible se refracta cuando se propaga desde el aire a un medio más denso, con un índice de refracción mayor a 1; para el caso de los rayos X el fenómeno ocurre a la inversa. En este caso, el índice de refracción es menor a 1, en el caso de los rayos X dicho índice es aproximadamente 10^6 , menor que 1, lo que nos dice que la desviación que sufre un haz de Rayos-X al pasar de un medio material al aire es demasiado pequeña.

Generación de rayos X (43) (44)

Los Rayos-X pueden llegar a producirse cuando un haz de electrones muy energéticos se desaceleran y cambian de dirección al encontrarse con un conjunto de átomos, un blanco, haciendo que dichos electrones pierdan parte de la energía cinética que llevan en forma de radiación electromagnética, en este caso, en forma de rayos X. Este tipo de radiación se le conoce como *Bremsstrahlung*, o ‘radiación de frenado’. Cuando los electrones pierden energía mediante este fenómeno se produce un espectro continuo de rayos X. Dicho espectro es dependiente de la energía con la que los electrones llegan al material. Los átomos del material emiten también rayos-X monocromáticos, lo que se conoce como línea de emisión característica del material. Otra fuente de rayos-X es la radiación sincrotrón emitida en aceleradores de partículas.

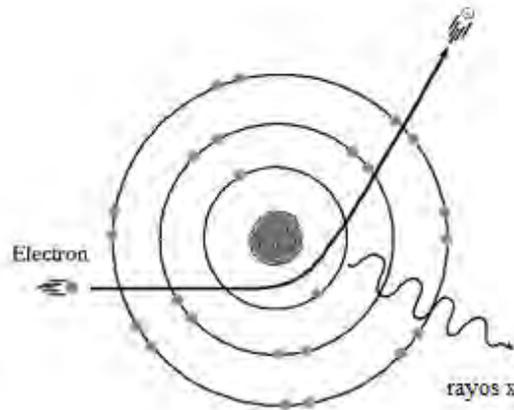


Figura 20: Esquema de la radiación emitida por desaceleración de un electrón. Modificado de (45).

Otra manera de generar Rayos-X es utilizando un tubo de Rayos-X. Dicho dispositivo está compuesto por un tubo de vidrio al vacío en el cual se encuentran dos electrodos en sus extremos. Para la producción de Rayos-X en laboratorios, hospitales, etc. se usan los tubos de rayos X que pueden ser de dos clases: tubos con filamento o tubos con gas.

En tubos de Rayos-X con filamento, el cátodo es un filamento de metal, el material más común utilizado es el tungsteno debido a que su gran número atómico permite una gran eficiencia al momento de producir rayos-X pues posee una alta temperatura de fusión, así como también una alta conductividad. El ánodo es un bloque de metal con una línea característica de emisión de la energía deseada.

Los electrones generados en el cátodo son enfocados hacia un punto en el blanco (que por lo general posee una inclinación de 45°) y los rayos X son generados como producto de la colisión. El total de la radiación que se consigue equivale al 1% de la energía emitida; el resto son electrones y energía térmica, por lo cual el ánodo debe estar refrigerado para evitar el sobrecalentamiento de la estructura.

El área bombardeada debe ser lo suficientemente grande como para absorber de manera eficaz la energía térmica que es producida al ser bombardeada por el haz de electrones, pero no lo suficientemente grande ya que muchas veces se requiere que el haz de Rayos-X sea una fuente puntual. A veces, el ánodo se monta sobre un motor rotatorio; al girar continuamente el calentamiento se reparte por toda la superficie del ánodo y se puede operar a mayor potencia. En este caso el dispositivo se conoce como «ánodo rotatorio». Finalmente, el tubo de Rayos-X posee una ventana transparente a los Rayos-X, elaborada en berilio, aluminio o mica.

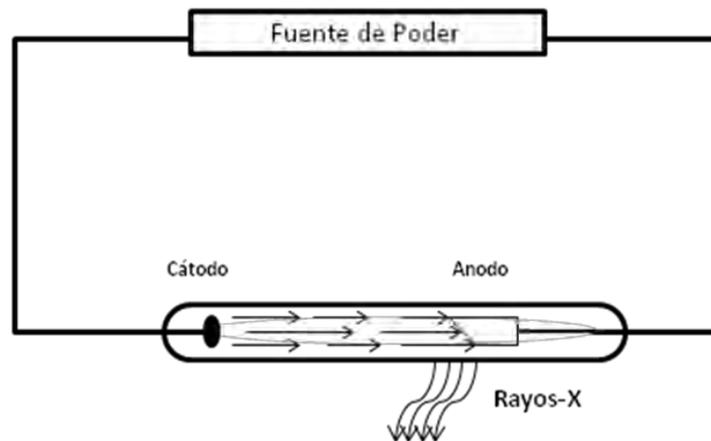


Figura 21: Esquema de un tubo de rayos X

Espectros de rayos X (43) (44)

Mientras la naturaleza de los rayos X permanecía como un misterio desde su descubrimiento en 1895 hasta 1912, mediante observaciones de cómo los rayos X eran absorbidos por pantallas de distintos elementos al ser generados por ánodos de elementos conocidos, muchas características cualitativas fueron reconocidas. Una de ellas fue el incremento en la absorción de los rayos-X cuando el voltaje que los generaba bajaba, dando así origen a la clasificación de rayos-X *duros* y *suaves*, así como la disminución del número atómico del ánodo.

Como ya se dijo, en un tubo de rayos-X éstos son producidos por el calentamiento del cátodo; dichos electrones reciben el nombre de termoelectrones, los cuales son acelerados hacia el ánodo (el blanco) por un potencial eléctrico, donde parte de la energía creada por la colisión del haz de electrones con el blanco da paso a la generación del rayos X.

En ciertas condiciones, lo único que podemos obtener al llevar a cabo esta colisión es un espectro continuo, en otros casos se genera un espectro de líneas que se superpone al espectro continuo.

El espectro continuo obtenido de la fuente de electrones utilizada es el resultado de las colisiones de dichos electrones con núcleos de los átomos que conforma el material del blanco, como se mencionó anteriormente. En este caso los electrones se desaceleran y cambian de dirección produciendo fotones de rayos-X, dando así paso a la radiación de frenado, conocida como Bremsstrahlung. Para cada electrón, dicha energía será igual a la diferencia entre su energía cinética antes y después de la colisión.

Como los electrones no se desaceleran en una sola colisión, sino que su desaceleración se lleva a cabo en una serie de colisiones, los rayos-X son emitidos de manera que su energía varía de modo continuo en un intervalo de energías considerables. Este espectro continuo es el que corresponde a la radiación emitida por efecto de frenado. La energía máxima de cada fotón corresponde a la colisión inicial del electrón el material, la energía cinética del electrón va decayendo hasta cero después de un cierto número de colisiones, donde en la última de ellas pierde toda su energía cinética.

Cuando un objetivo es bombardeado por un haz de radiación lo suficientemente energético para hacer que los electrones de un átomo se desprendan de éste, se produce un espectro discontinuo el cual consiste en líneas de emisión intensas, así como una serie de líneas adicionales. A estas longitudes de onda se les conoce como rayos X característicos. Dicho comportamiento es típico de todos los elementos

que tienen un número atómico mayor a 23, dichos espectros consisten en dos series de líneas. Dichas líneas se producen cuando se crean vacantes en los niveles más bajo de energía atómica. El grupo cuya longitud de onda es más corta se le conoce como serie K y al otro serie L.

Los espectros de líneas de rayos X son el resultado de las transiciones electrónicas que implican los orbitales atómicos más internos. Dichos espectros de líneas se producen cuando radiación de alta energía logra arrancar electrones de los orbitales más cercanos al núcleo del átomo. Esto da lugar a la formación de iones excitados, los cuales dan lugar a la emisión de un fotón de rayos-X, cuando un electrón de las capas superiores desciende al hueco generado por el electrón que ha dejado su orbital. La energía del fotón emitido es igual a la diferencia de energía entre el orbital de donde provienen el electrón y el orbital donde se encuentra el hueco existente.

Cuando los electrones caen del nivel energético $n=2$ al nivel $n=1$ se producen rayos X característicos conocidos como K-alfa y los correspondientes a las transiciones entre $n=3$ a $n=1$ se denominan rayos-X K-beta. Cuando los electrones caen desde las capas energéticas $n=3$ y $n=4$ a la capa energética $n=2$ o L los rayos X producidos se denominan L-alfa y L-beta respectivamente. La frecuencia de los rayos X característicos se puede predecir a partir del modelo atómico de Bohr. Así mismo, existe una relación lineal entre la raíz cuadrada de la frecuencia para una línea dada, ya sea K o L y el número atómico del elemento responsable de la radiación. Esta relación fue descubierta por H. G. S. Moseley en 1914, la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$h\nu_{K\alpha} = 13.6eV(Z^2 - 1)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)^2 = \frac{3}{4} * 13.6(Z - 1)^2 eV \quad (14)$$

Otra característica de estos espectros es que el potencial de aceleración mínimo necesario para la excitación de la líneas debe ir aumentando conforme aumenta el número atómico. Por ejemplo, en el caso del molibdeno cuyo número atómico es 42, el espectro de líneas desaparece si el potencial de excitación es inferior a 20kV.

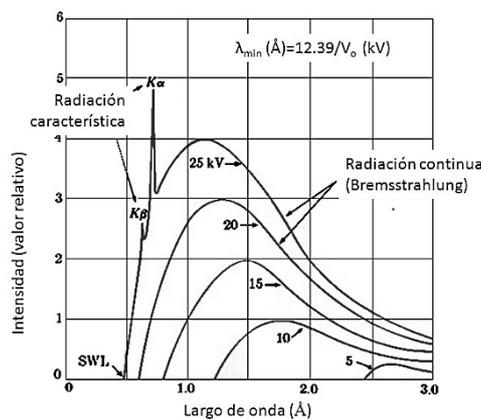


Figura 22: Superposición de un espectro continuo y uno de líneas de Rayos-x. Modificada de (46).

Descripción del fenómeno

La técnica de espectroscopia por Fluorescencia de rayos-X se basa en el estudio de las emisiones generadas por una muestra después de que sus átomos son excitados al ser expuestos a una fuente de rayos-X. Al exponer un material a rayos-X, los átomos que componen la muestra pueden ser ionizados. La ionización consiste en la eyección de uno o más electrones desde el átomo, esto ocurre si se expone al átomo a una radiación cuya energía exceda la del potencial de ionización de este (43).

Los rayos-X pueden ser suficientemente energéticos para desprender electrones fuertemente ligados en los orbitales internos del átomo. Tal remoción electrónica deja en condición inestable a la estructura electrónica del átomo, y los electrones de orbitales más elevados descienden hacia el orbital más bajo, para así ocupar los huecos que dejan los electrones internos desprendidos (43).

En esta transición se da la emisión de un fotón. El valor de la energía de este es igual a la diferencia de energía entre los dos orbitales involucrados. Por lo tanto el material emite radiación, en forma de rayos X, cuya energía es característica de los átomos componentes del material. El término *fluorescencia* se usa para denominar el fenómeno por el cual la absorción de radiación de una energía específica genera reemisión de radiación de una energía diferente, generalmente menor.

Podemos decir entonces que el fenómeno de fluorescencia de rayos-X consiste en dos etapas

- a) La excitación del átomo debido al desprendimiento de uno o más de sus electrones al ser expuesto a una radiación electromagnética, en este caso, un haz de rayos-X (44).
- b) El decaimiento del átomo previamente excitado a su estado base mediante la emisión de un fotón de rayos X, el cual se produce cuando uno o más electrones descienden de los niveles más externos del átomo a los más internos para ocupar los huecos producidos por los electrones que fueron desprendidos anteriormente (47).

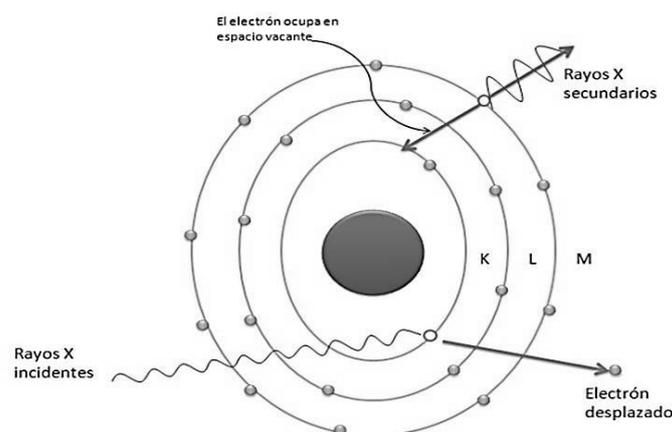


Figura 23: Diagrama de la Fluorescencia de rayos x (48).

CAPÍTULO 3: OBJETO DE ESTUDIO

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados del análisis de cuatro de las pinturas pertenecientes a la calle izquierda del retablo mayor de la iglesia del Ex Convento de San Miguel Arcángel localizado en Huejotzingo Puebla las cuales se titulan: “María Magdalena”, “La Adoración de los Pastores”, “La Circuncisión” y la “Resurrección”, las esculturas policromadas de “San Gregorio” y “San Agustín” pertenecientes al mismo retablo, y una pintura del artista Flamenco Martin de Vos llamada “Susana y los Viejos”.

Estas obras fueron seleccionadas para este estudio debido a su gran importancia cultural y artística. En el caso de las pinturas del Retablo mayor de Huejotzingo éstas se atribuyen a los pintores Simón Pereyngs y Andrés de Concha, dos de los pintores más prestigiados de principios de la época Colonial en México. La importancia de estas obras reside en que a pesar de haber mucha documentación histórica que nos indica que estos pintores realizaron trabajos por todo el territorio de la Nueva España son muy pocas las piezas que han llegado a nuestros días (49). Debido a esto, conocer la paleta pictórica de artistas tan importantes constituye una gran aportación al conocimiento de los pigmentos utilizados por los artistas de la Nueva España.

Además de esto, la localización de estas obras es de suma importancia ya que el poblado de Huejotzingo fue considerada una zona estratégica para la conquista política y religiosa. Debido a su ubicación geográfica y a su importancia como asentamiento en la época prehispánica, Huejotzingo fue una de las poblaciones donde los españoles establecieron bases de operaciones y tomaron como prioridad la evangelización de sus habitantes. (50)

La pintura *Susana y los Viejos* de Martin de Vos se incluye en este trabajo debido a dos razones importantes. La primera es que aunque Martin de Vos nunca residió en la Nueva España varias de sus obras fueron traídas desde Europa para formar parte de diversos retablos por lo que sus obras también forma parte del patrimonio pictórico de la época colonial en México. La segunda de estas razones es que artistas como Simón Pereyngs y Andrés de Concha utilizaban los grabados de Martin de Vos como referencia para la composición de sus personajes en las obras religiosas que realizaban, es decir, sus pinturas estaban fuertemente influenciadas por los grabados de Martin de Vos. Es por esto, que aunque éste no fuera parte de los artistas que emigraron de Europa para ejercer su profesión en la Nueva España su trabajo no es ajeno al tema abordado en esta tesis (1).

MARCO HISTÓRICO

Breve historia del convento de San Miguel Arcángel de Huejotzingo, Puebla (50)

El siglo XVI fue el periodo donde se integraron dos mundos, Europa y América. Debido a que España extendió su dominio por todo el globo, el imperio español alcanzó el mayor poderío político y militar de su historia convirtiéndose así en la nación más potente de Europa (51).

A la llegada de los primeros monjes franciscanos a los territorios de la Nueva España, se traza el plan para llevar a cabo la evangelización de la misma, tomando las poblaciones más fuertes tanto demográfica como políticamente hablando: México, Tlaxcala, Texcoco y Huejotzingo, construyendo en dichas ciudades los primeros monasterios para realizar dicho fin.

Durante los tiempos prehispánicos, Huejotzingo fue uno de los señoríos más importantes. Su territorio estaba repartido en varios asentamientos como Tecpan, Ocoatepec, Almoyahuacan y Xeltepetlapan. En el momento de la conquista, debido a su ubicación, entre Veracruz y México-Tenochtitlan, Huejotzingo fue aprovechado para establecer la base de operaciones de los españoles, también con la misma ayuda de los huejotzincas fue que se emprendió la tarea de la evangelización de esta región.

Las investigaciones arqueológicas sugieren que el ex convento fue construido en tres etapas, siendo la última de estas la que corresponde a la actual construcción.

En la primera etapa constructiva (1524-1529) según los estudios arqueológicos realizados por Marco Córdova Tello se reutilizó la plataforma o montículo semidestruido que existía desde el periodo prehispánico. En el lado norte se construyó un templo de planta basilical y una dependencia anexa de materiales perecederos, lo cual se cree que era usado, a su vez, como escuela para adoctrinar a los niños indígenas.

En la segunda etapa constructiva atribuida a los años 1530-1545, se amplía el templo basilical y la escuela es modificada. A su vez, son edificadas nuevas construcciones como una capilla abierta, la cual probablemente contaba con una planta pentagonal y un conjunto arquitectónico conformado por el convento, atrio, sistema hidráulico y se cree que también un hospital.

La tercera etapa corresponde al periodo entre 1545-1580, donde se edificaron el convento y templo actual, además de las capillas posas. Según las investigaciones, en la década de 1540 cuando se emprende la campaña para realizar la construcción de dichos edificios. En lo que corresponde a las capillas posas, la primera de ellas tiene una inscripción que dice "1550" lo cual hace suponer a los expertos que fueron terminadas en este año.

Huejotzingo, así como fue una ciudad importante durante el periodo prehispánico, lo fue en el momento en el que los españoles comenzaron la conquista donde durante el siglo XVI las comunidades españolas e indígenas convivían en una misma sociedad. En las inmediaciones de la localidad de Huejotzingo se cultivaba maíz y grana cochinilla los cuales constituían una gran fuente de ingresos. La grana cochinilla, por su gran demanda en los imperios de Castilla llegó a ser comparada en valor con el mismísimo oro.

Durante la segunda mitad del siglo XVI Huejotzingo disfrutaba de una abundancia económica y fue en este periodo donde se efectuó la construcción del retablo mayor. El patrocinio de dicho retablo se le atribuye a la población de indígenas de la región pero principalmente a Pablo Ortiz de Mendoza quien

era gobernador y, a su vez, cacique de la familia más influyente de la región en el momento en el que el retablo fue requerido.

Al ser una obra de gran tamaño y costo económico, es imposible no atribuir la construcción del mismo a la gran devoción de los indígenas locales ya adoctrinados en el catolicismo. La construcción del retablo refleja al mismo tiempo la gran abundancia económica que había en ese momento en el pueblo de Huejotzingo así como la gran devoción de los pueblos de la región.

Al hablar del ex -convento así como de la iglesia y del retablo mayor que en éste se encuentra, es imposible no mencionar el valor artístico e histórico de las pinturas y esculturas que se enmarcan por dicho retablo. En cuanto a la elaboración de las pinturas, en los documentos históricos consultados se encuentra que el pueblo de Huejotzingo designa a Simón Pereyng y a Andrés de la Concha como los autores de las pinturas que ahí se encuentran y no de ningún otro “aunque ellos quieran”. A su vez, también se mencionan a Pedro Requena y a Marcos de San Pedro como escultor y dorador respectivamente.



Figura 24: Localización geográfica del municipio de Huejotzingo, Puebla

Retablo mayor de la Iglesia del Ex-convento de San Miguel Arcángel, Huejotzingo, Puebla

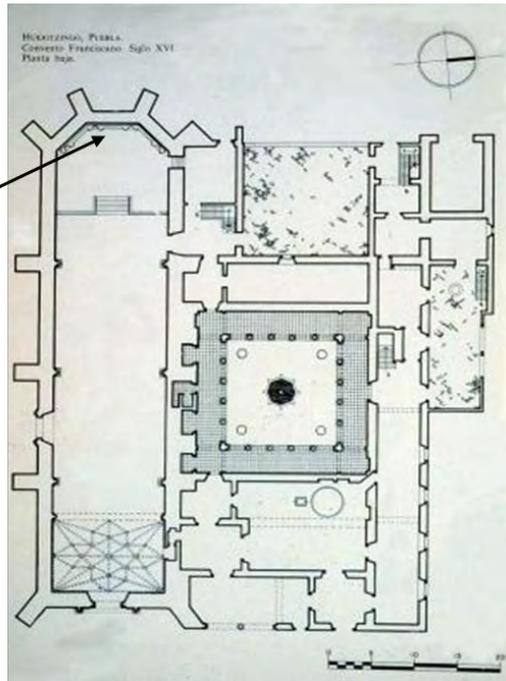
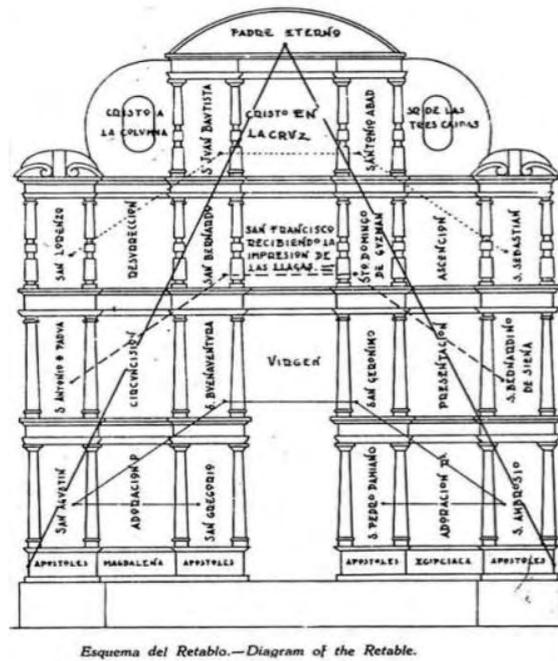


Figura 25: Diagrama Arquitectónico de la planta baja del Ex -convento de San Miguel Arcángel, Huejotzingo, Puebla. La flecha señala la localización del retablo mayor donde se encuentran las pinturas estudiadas. Modificado de (52)



Esquema del Retablo.—Diagram of the Retable.

Figura 26: Esquema del Retablo Mayor del Templo del Ex-Convento de San Miguel Arcángel, Huejotzingo, Puebla. Las obras estudiadas pertenecen a la calle izquierda del retablo. (53)



Figura 27: Retablo mayor del Templo del Ex- convento de San Miguel Arcángel, Huejotzingo, Puebla (53)

MARCO ARTÍSTICO

Los pigmentos utilizados en la Nueva España

Uno de los principales objetivos del arte de la pintura ha sido siempre trasladar los colores del entorno a la pieza que se desea realizar. Para ello, los artistas se han basado en su propia destreza, conocimiento del color y el conocimiento de las distintas características pictóricas de los materiales con los que disponían. Todo esto ha tenido una gran influencia en el desarrollo de las distintas manifestaciones artísticas a lo largo de la historia (54).

La preparación de los pigmentos y colorantes estuvo estrechamente relacionada con la alquimia hasta al nacimiento de la química moderna. En la Antigüedad la preparación de los pigmentos requería del conocimiento del uso de instrumentación e interpretación de recetas, propio de los alquimistas, por lo tanto los alquimistas y artistas tuvieron una estrecha relación la cual les permitía el amplio intercambio de conocimientos (54).

Aunque existen pigmentos que se han utilizado desde la Antigüedad hasta nuestros días, como es el caso de los pigmentos ocre y tierras, la introducción de nuevos materiales, el desarrollo de nuevos y mejores procesos de aplicación y fabricación dieron paso al descubrimiento de nuevos pigmentos y colorantes, la

mayoría de ellos sintéticos, que han sido protagonistas en la historia de los materiales pictóricos. Un ejemplo de éstos son el blanco de plomo, el esmalte y el bermellón. Aunque la mayoría de la recetas se han perdido a lo largo de la historia, afortunadamente se han podido conservar algunos recetarios, tratados de arte, listas de compras, textos de alquimia y otras fuentes documentales que nos han permitido saber cómo es que los pigmentos y colorantes se fabricaban (54).

El descubrimiento de América y las grandes exploraciones marítimas que se realizaron entre los siglos XV–XVII permitieron el acceso a nuevos materiales y colorantes. Los españoles encontraron en las tierras recién descubiertas una gran variedad de pigmentos y colorantes. Algunos de los pigmentos y colorantes que fueron de gran importancia para el comercio entre América y Europa fueron la cochinilla, el añil, palo de Brasil y la azurita, esta última de gran importancia ya que por esas fechas, finales del gótico, la azurita era el pigmento azul más utilizado en la pintura y escultura policromada. El comercio y producción de la grana cochinilla fue monopolizado por España, su valor comercial era de tal importancia para las arcas españolas, el cual estaba solo por debajo del oro y la plata, que llevó a que se promulgaran leyes que prohibían la exportación de insectos vivos. Otro colorante rojo que era exportado a Europa desde América y la India era el palo de Brasil con el cual también se fabricaban lacas rojas (55).

Otro de los colorantes que los españoles exportaban desde América y que tuvo gran impacto en los mercados Europeos fue el añil o índigo; la mayoría se exportaba desde Guatemala. Este pigmento pronto reemplazaría, pero no de forma total, a los azules producidos en Francia, Alemania e Inglaterra. Finalmente otro de los colorantes y pigmentos provenientes de América que fueron dados a conocer en Europa gracias a las exportaciones españolas fueron la orchilla, el palo de Campeche y el zacaple (55).

El desarrollo de las redes comerciales que se realizó en el siglo XVI por todo el territorio europeo favoreció la movilidad de los productos utilizados en la pintura, de tal manera que podían llegar sin dificultad desde el lugar de obtención y/o manufactura a las distintas tiendas y comerciantes que los ofrecían en los distintos países, estos productos generalmente se vendían en tiendas de especias y boticas (55).

Como se mencionó anteriormente, el comercio entre América y España llevó a la exportación a gran escala de pigmentos y colorantes utilizados desde mucho tiempo antes en el nuevo mundo. Pero también se importaban los materiales más conocidos en Europa para la pintura y escultura policromada, muchos de estos materiales eran solicitados por los mismos artistas cuando se les encomendaba una obra (55).

Mediante estudios previos realizados en el Laboratorio de Diagnóstico de Obras de Arte del Instituto de Investigaciones en Estéticas de la UNAM en conjunto con el Instituto de Física de la UNAM y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, llevados a cabo en algunas obras de arte novohispanas de los siglos XVI, XVII y XVIII, se obtuvieron informes técnicos donde se recopiló la información relacionada con las características de los materiales utilizados por los artistas en la Nueva España dando paso a la realización de la siguiente tabla. En ella se muestra una lista de pigmentos que fueron identificados por medio de distintas técnicas (56), enfocándonos en los correspondientes a los utilizados durante el siglo XVI por los artistas Simón Pereyng y Andrés de Concha ya que son los que conciernen al tema tratado en esta tesis.

La identificación de estos pigmentos, se realizó mediante las siguientes técnicas de análisis no destructivo: espectroscopia Raman, fluorescencia de rayos-X, registro fotográfico con luz visible y ultravioleta. Además se realizaron tomas de muestras representativas para realizar la caracterización de los pigmentos inorgánicos mediante microscopia electrónica de barrido con micro sonda de análisis químico elemental, caracterización de las cargas mediante Difracción de Rayos-x e identificación de la madera que conforma el panel de las pinturas sobre tabla mediante análisis histológico y microscopia (56).

Tabla 1: Tabla de los pigmentos utilizados por los artistas de la Nueva España.

Color	Nombre/Composición	Descripción
Blanco	Albayalde o Blanco de plomo $Pb_3 (CO_3)_2 (OH)_2$ (57)	Pigmento blanco compuesto básicamente de carbonato de plomo. El carbonato de plomo se encuentra en la naturaleza como un mineral (hidrocerussite) pero la forma mineral generalmente no es usada como pigmento. El albayalde o también conocido como blanco de plomo, es preparado de manera artificial desde la antigüedad. Su método de preparación figura en libros de escritores de clásicos como Teofastro. Uno de los métodos conocidos consistía en exponer láminas de plomo a los vapores del vinagre (ácido acético), la corrosión resultante es de color blanco (acetato de plomo) y se calcinaba al sol dando como resultado carbonato de plomo (55). El blanco de plomo es un pigmento denso y opaco que fue el pigmento blanco principal utilizado en pinturas y vasos de cerámica desde la antigüedad hasta el siglo XX. Fue remplazado por el blanco de zinc y blanco de titanio (58).
Azul	Azurita $(Cu_3(CO_3)_2 (OH)_2)$ (57)	La azurita es un mineral de color azul intenso compuesto básicamente de carbonato de cobre. Este mineral generalmente se encuentra junto con el carbonato de calcio verde conocido como malaquita. La azurita ha sido utilizada como pigmento desde la antigüedad. El pigmento natural se obtenía moliendo la piedra azurita y purificándola mediante un proceso de lavado con agua y vinagre muy laborioso, con el fin de eliminar impurezas verdes, solía añadirse miel o cola de pescado para separar las partículas. Además del uso de la azurita natural como pigmento, también se elaboraba carbonato de cobre de forma artificial, de este material existían varias recetas en la literatura (55).
	Esmalte $(K, Co(Al), SiO_2)$ (57)	El pigmento esmalte es obtenido de un vidrio de color azul intenso que contiene óxido de cobalto. El cobalto fue utilizado como pigmento en los siglos XI- XII en el imperio chino, y su uso en Europa comenzó a partir de principios del siglo XV pero se popularizó en el siglo siguiente (59). La composición del esmalte varía dependiendo del método de fabricación que se utilice. La preparación generalmente consiste en la fusión de óxido de cobalto con silicio y carbonato de potasio. Suele contener pequeñas cantidades de arsénico que varía dependiendo del origen de la fuente mineral. Este pigmento cuenta con un pobre poder cubriente y su uso en la pintura al óleo tiene el inconveniente de que el aglutinante utilizado lo vuelve opaco y se decolora, sin embargo fue un pigmento muy popular para esta técnica (55).
Amarillo	Amarillo de plomo-estaño tipo I (Pb_2SnO_4) o tipo II ($PbSn_2SiO_7$) (57)	El amarillo de plomo-estaño se utilizó en Europa desde principios del siglo XIV hasta la primera parte del siglo XVIII, aunque su utilización en la pintura fue desapareciendo desde finales del siglo XVII debido a la aparición del amarillo de Nápoles. En la actualidad el amarillo de plomo-estaño se clasifica como tipo I y tipo II debido a la diferencia en su composición, ambos tipos se fabrican calentando juntos el plomo y óxidos de estaño en un horno. Para la fabricación del tipo I se coloca óxido de plomo y óxido de estaño en un horno a temperaturas aproximadas de entre 650°C y 800°C. Para el tipo II se le añade dióxido de silicio y se hornea a una temperatura de entre 900°C y 950°. Era considerado como el mejor amarillo para el óleo debido a que era un pigmento con un gran poder cubriente y muy secativo (55).
	Oropimente (As_2S_3) (57)	Mineral amarillo compuesto por trisulfuro de arsénico. Su color varía en un rango que va desde el brillante color amarillo limón hasta el anaranjado. Se puede obtener naturalmente de fumarolas volcánicas, venas hidrotermales, aguas termales, y como producto de la descomposición del realgar. El oropimente fue utilizado como pigmento en la pintura europea desde épocas tempranas, su uso incluyó desde manuscritos iluminados hasta esculturas policromadas (60).

Amarillo	Laca orgánica amarilla (quercetina, quercetagina y flavina) (61).	Entre los siglos XVI y XVII existían un gran número de lacas amarillas, todas ellas de origen vegetal. Las más populares usadas en la pintura al óleo eran aquellas denominadas como grana de Avión. Generalmente estaban derivadas de las diferentes clases de Ramnáceas y las procedentes de la gualda. Solía prepararse precipitando el colorante amarillo en un sustrato metálico como el alumbre, se le incorporaba una tierra blanco o albayalde que cumplían la función de un soporte inerte; solían utilizarse también como tintas transparentes hirviendo el jugo de las plantas con aceite u oleos (55). Las lacas amarillas generalmente se utilizaban en oleos, estofados y la iluminación.
	Amarillo de plomo (secativo del aceite)(PbO) (57)	El amarillo de plomo conocido también como litargirio o masicote. El litargirio es el producto de la oxidación del plomo fundido que ha sido movido o atomizado para incorporar aire y posteriormente enfriado, el producto resultante es molido para formar el polvo que se usa como pigmento. En la pintura, el litargirio era usado como secativo el cual se adicionaba al aceite y como fundente de bajo fuego en la fabricación de vidrio y cerámica (62).
	Tierra ocre (FeO(OH)) (63)	Los colores de las tierras ocres pueden variar desde amarillo pálido, pasando por anaranjado hasta el rojo intenso. Los pigmentos ocres están compuestos principalmente por óxidos e hidróxidos de hierro y suelen contener arcilla. Dependiendo de la zona de origen pueden contener arena, tiza, yeso, barita y silicatos. La presencia de estos elementos puede producir variaciones en el color. En el caso de la tierra ocre amarilla ésta está compuesta mayormente por goethita y arcilla (64). Los colores amarillo y café son producidos por el hidróxido de hierro. Las tierras y ocres se caracterizan por su gran poder cubriente, son estables y son compatibles con cualquier pigmento o técnica. (65).
Rojo	Laca orgánica roja (C ₂₀ H ₁₄ O ₁₁), (C ₁₄ H ₈ H ₅), (C ₁₀ H ₁₂ O ₉), (C ₂₂ H ₂₀ O ₁₈) (57)	Como ya se mencionó anteriormente, el término laca se utiliza para referirse a pigmentos obtenidos de colorantes vegetales y animales, en este caso aquellos que proporcionaban una coloración rojiza. La laca roja de origen animal se obtenía principalmente del insecto "Kermes vermilio" el cual era recolectado en el mediterráneo. Después del descubrimiento de América su uso es prácticamente sustituido por la "grana cochinilla". El colorante obtenido de la hembra de este insecto se combinaba con alumbre para obtener la laca llamada carmín. Las tonalidades de este varían desde el anaranjado al púrpura dependiendo de la acidez del líquido. Los de origen vegetal eran el Brasil, extraído de la madera "Caesalpinia sappan" originaria de América e India, la rubia y la grana las cuales eran obtenidas de la raíz de la "Rubia tinctorum L." originaria de Persia y el Mediterráneo oriental. La laca vegetal se obtiene de la fermentación de las plantas y maderas, que da origen a un colorante insoluble, el cual, al ser mezclado con arcilla, creta o alumbre, sirven como base. (55).
	Bermellón (HgS) (57)	Pigmento de un color rojo brillante preparado de forma artificial compuesto de sulfuro de mercurio; este pigmento es químicamente idéntico al mineral cinabrio. Hay dos métodos de preparación, el método seco y el método húmedo. El primero de ellos fue inventado por los chinos y su versión del bermellón era exportada a Europa por los holandeses. El método seco consistía en añadir mercurio a sulfuro molido dando como resultado un sulfuro de mercurio de color negro. Después se calentaba hasta la sublimación y al condensarse se obtiene el bermellón. Este pigmento se caracteriza por tener un gran poder cubriente y se utiliza en las técnicas al óleo, acuarela, temple y fresco (66).
	Minio (Pb ₃ O ₄) (57)	Pigmento artificial obtenido mediante la calcinación del blanco de plomo. Es un pigmento de gran tradición en la época clásica que se utilizó también para la elaboración de miniaturas en los manuscritos. En España se utiliza como secante para lacas y otros pigmentos incesantes como el negro de humo, la ancora y el jalde. Pierde su popularidad en el siglo XVII debido a su inestabilidad (67).
	Ocre rojo (Fe ₂ O ₃) (68)	Tierra roja natural, compuesta por óxido de hierro (limonita) y arcilla. Suele encontrarse en forma de granos finos diseminados sobre roca. Es preparado mediante el lavado, levigación y molido produciendo polvo de distintos tonos y grados de transparencia. Es un pigmento estable, compatible con todos los medios y utilizado en todas las técnicas. Ha sido utilizado desde la Antigüedad para la pintura y la fabricación de vidrio (55).

	Hematita (α -Fe ₂ O ₃) (68)	La hematita es un mineral de color rojo compuesto principalmente por óxido de hierro y es la forma más común del hierro, suele encontrarse en forma de rocas. Es un pigmento de gran poder cubriente, estable e inerte. Es el principal componente en pigmentos de color rojo, cafés y púrpuras a base de hierro, tanto de naturales como artificiales y suele estar presente en todas las culturas, generalmente en tierras ricas en hematita, como son los ocre y la siena (68).
	Tierra roja (almagre o sinopia) (Óxido de hierro) (68)	La tierra roja es un pigmento natural compuesto principalmente de óxidos de hierro, su uso como pigmento se remonta hasta el Paleolítico. Es utilizado en todas las técnicas por su estabilidad, gran poder cubriente y su accesibilidad. Puede encontrarse en cualquier parte del mundo con gran facilidad y también obtenerse de manera artificial al calcinar ocre amarillo. La tierra roja también era utilizada para imprimir lienzos debido a su baja absorción de aceite y su secado rápido (55).
Pardo	Sombra tostada (Fe ₂ O ₃ + arcilla) (57)	Pigmento natural café que contiene hidróxido de hierro y manganeso. Es uno de los pigmentos a base de tierras más populares a lo largo de la historia de la pintura. Se utiliza generalmente en el óleo para sombrear encarnaciones debido a que tiene cierta transparencia al mezclarse con aceite. La variedad de sus tonalidades de tierra de sombra depende muchas veces del lugar de origen. La sombra tostada es obtenida al tostar la tierra de sombra, lo cual daba como resultado una tierra café oscuro con tonalidades rojizas (69).
	Tierra ocre	Véase Amarillos : Tierra ocre
	Tierra pardo oscura (Fe ₂ O ₃ +-MnO ₂ + arcilla) (57)	La tierra parda oscura es óxido de hierro mezclado con dióxido de manganeso; esta combinación es comúnmente conocida como sombra tostada. Era fabricada mediante la tostadura de la tierra de sombra o sombra, el calor convierte los hidróxidos de hierro de color amarillento en óxidos de hierro de color café rojizo, como todas las tierras es un color duradero y estable. Este pigmento ha sido utilizado en las técnicas de óleo y acuarela (70).
	Tierra pardo rojizo (Fe ₂ O ₃ +-H ₂ O + arcilla) (57)	Este tipo de tierra es de color café amarillento lo cual recibe su nombre de la ciudad italiana de Siena donde se producía este pigmento con una calidad superior. La siena natural contiene al menos un 50% de óxido de hierro hidratado, conocido como goethita, combinado con aluminio y dióxido de manganeso. Dichos componentes dan la coloración al pigmento. Como las otras tierras produce un color estable, suele utilizarse en su estado natural después del lavado, levigación y molido (en el caso de la Siena natural) o después de ser tostado (en el caso de la Siena tostada). (68).
Verde	Tierra verde (Celadonita + Glauconita) (55)	Tierra de color verde oscuro constituida principalmente de glauconita y celadonita. Al igual que todas las tierras es un color muy estable por lo que fue utilizado en casi todas las técnicas, especialmente en el fresco. En la pintura medieval italiana solía emplearse como base para las encarnaciones (55).
	Resinato de cobre (Compuesto diterpénico – Cu) (57)	El resinato de cobre es un vidriado verde transparente que contiene sales de cobre. Este material se utilizó comúnmente como pigmento entre los siglos XV y XVII, aunque también se ha observado en manuscritos del siglo VII. Existen varias recetas para su fabricación, la mayoría de ellas coinciden en que el resinato de cobre es una mezcla de verdigris con la trementina de Venecia, otras tantas indican que es verdigris mezclado con un medio de aceite o resina. Actualmente este pigmento se prepara mezclando resinas naturales con sales de cobre como el acetato de cobre, el hidróxido de cobre, óxido de carbonato de cobre (71).
	Malaquita (Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂) (57)	La malaquita es un mineral verde compuesto principalmente por carbonato de cobre y se encuentra en su forma natural junto con el carbonato de calcio azul conocido como azurita, pero es la malaquita el más abundante de los dos. Para preparar el pigmento se molía el mineral hasta convertirlo en polvo, después se lavaba y se levigaba, dependiendo del grosor del molido era el tono del pigmento. El mineral toscamente molido daba un verde oscuro mientras que las partículas finas dan un tono más ligero. La versión sintética de la malaquita, conocida comúnmente como verditer, se obtenía gracias a la coloración de tiza con sulfato de cobre y daba un color más pálido que el de la malaquita (72).

Negro	Negro de humo (carbono+ Ca ₃ (PO ₄) ₂ (57)	El negro de humo es un tipo de negro de carbón el cual se obtiene del hollín de la quema de grasa, aceite, alquitrán o resina, es uno de los pigmentos más antiguos y se sigue utilizando hasta nuestros días, por lo que existen muchas descripciones de su preparación. Sin embargo, el más alto grado de sofisticación en la fabricación del negro de humo a lo largo de historia fue logrado para los pigmentos conocidos como “tinta china” descrito en 1948. Actualmente negro de humo se utiliza como un pigmento negro en los cementos, materiales cerámicos, tintas, linóleo, lápices de colores, betunes para zapatos (55).
	Negro de Carbón (99% de carbono amorfo) (57)	El negro de carbón es un pigmento de partículas finas el cual se obtiene del hollín resultante de la quema de diferentes materiales orgánicos, como huesos de fruta, tallos, cáscaras, resinas, etc. El negro de carbón se compone generalmente de un polvo fino y suave aunque podría contener impurezas minerales. Puede también adquirir una tonalidad azulada si contiene alquitrán. Es un pigmento muy estable, no afectado por la luz y de gran poder cubriente (73).

El arte flamenco y su presencia en la Nueva España (1)

Consumada la conquista, España proyecta su espíritu, morisco y medieval-renacentista; en el arte hacia su nueva hija, la Nueva España. Así, después de lograr la unidad política en este país naciente se incorpora en cultura a Europa y empieza a conformarse como estado. El desarrollo del arte en la nueva nación no fue solo producto de la influencia de España, después de ésta, la región de Flandes fue la que más influyó sobre el arte.

Uno de los frailes cuyo nombre quedó grabado en la historia por su gran labor durante la conquista fue Fray Pedro de Gante, originario de la región de Flandes, el cual destacó gracias a su gran labor al dedicarse a enseñar a los nativos de la Nueva España a leer, escribir, y los adiestró en los artes y oficios y por supuesto, en la fe. Pedro de Gante construye en un anexo al convento de San Francisco de México la primera escuela de arte del Nuevo Mundo. Pintores, escultores, artífices de la cantera, entre otros encontraron en esta escuela la forma de combinar la destreza manual adquirida en años previos debido a sus oficios como artesanos con los ideales del arte Europeo.

La influencia del arte flamenco en los artistas de la nueva España existió durante los años de la colonia gracias a la presencia de muchos artistas flamencos en el territorio y también a que en aquellas épocas, el arte flamenco era de tal influencia que sólo podía ser comparado con el arte de las escuelas Italianas. El arte del Flandes se utiliza de cierta manera para dos fines en los albores de la Nueva España, el primero para corregir la percepción estética de los indígenas en lo que se refiere al arte y el segundo fue para alejarlos de sus creencias las cuales eran consideradas como herejía.

A pesar de la gran presencia de artistas flamencos en esa época, la figura cumbre del arte flamenco en la Nueva España es Simón Pereyns. A su nombre se unen los de los primeros artistas destacados en lo que se conoce como el primer apogeo pictórico de México. Después de formar parte de la corte española como pintor oficial de Felipe II, viajó al nuevo mundo como parte de la corte del virrey Gastón de Peralta. La obra de Simón Pereyns en la Nueva España fue formidable. Sin embargo, pocas piezas se conservan, algunas de ellas son las piezas pertenecientes al Retablo mayor del Templo de San Miguel Arcángel en Huejotzingo, Puebla, Santa Cecilia y La Sacra Familia en galerías de pintura, San Cristóbal y la tabla de la Virgen del Perdón en la Catedral de México. Pereyns no solo destaca por las grandes obras que dejó a la pintura Mexicana como un gran legado, sino también porque en su tiempo difundió parte de su sabiduría a artistas que florecieron junto con él.

Casi un siglo después, Diego Borgraf, oriundo de Amberes, aparece en la ciudad de Puebla de los Ángeles, para formar parte del periodo Barroco cuyas líneas eran trazadas por García Ferrer y seguidas por los más distinguidos grupos de pintores angelopolitanos. Borgraf utiliza dos estilos, uno claro y luminoso y otro sombrío y misterioso. Ambos estilos los podemos ver representados en las obras de Santa Teresa y Cristo rodeado de Santos respectivamente, esta última en la parroquia de Cholula, Puebla. Borgraf, fue uno de los muchos pintores que estaban unidos a la tradición renacentista pero veían el Nuevo Mundo como una puerta abierta para el arte de la pintura.

Se sabe poco de la escultura flamenca en la Nueva España pero se habla de ensamblador como ningún otro, Adrian Suster, oriundo de Amberes y nacido hacia el año 1554; sus padres y hermanos eran ensambladores también. Aprendió su oficio en Cadiz y ejerció en Sevilla y llegó a la Nueva España en el año de 1573. Realizó trabajos en Michoacán y Tulancingo, también trabajó el coro de la iglesia de Santo Domingo en la capital del virreinato y la sillería de la antigua catedral de México fue considerara su obra maestra. Los ensambladores más allá de ser simples carpinteros pueden considerarse ingenieros de la escultura, su trabajo, el de ayudar al tallador a unir las piezas de los altares, púlpitos, coros o tribunas no es tarea que pudiera realizarse sin tener cierto grado de destreza ya que son los ensambladores los que dieron solidez a las grandes obras que permanecen hasta nuestros días.

En el arte del grabado, el más destacado es Samuel Estradano o Van der Straet. Este grabador presenta un perfil muy bajo en el plano de artista. Sin embargo, se sabe que grabó *frontis* de libros, retratos de personajes notorios, escudos nobiliarios y un plano, el cual era entonces conocido como el plano de la ciudad de México y sus contornos. A lo largo de la historia plástica de la Nueva España se puede encontrar el nombre de otros artistas flamencos. En el siglo XVI se mencionan nombres como el del lapidario Joseph de la Haya y el arquitecto de molinos Juanes de Amberes, el cual se dedicó a edificar molinos en Puebla, entre otros.

La influencia de Flandes sobre el arte en la Nueva España no sólo se introdujo representada por los hombres que decidieron hacer sus carreras artísticas en este territorio, sino también llegó en espíritu gracias a las obras que llegaron a la Nueva España desde Flandes en esta época. El genio de los artistas de Flandes llenó el nuevo país de cosas maravillosas y puede verse su influencia no sólo en la pintura de la época colonial en México sino que se extiende como un manto sobre todos los países que en esa época conformaban el nuevo mundo. Uno de los trabajos más admirables que llegaron desde Flandes fue el del maestro Martin de Vos, de los cuales en México se conservan al menos cinco de sus obras. Su influencia puede traducirse en vitalidad y frescura. El nuevo mundo sucumbió a la belleza del arte flamenco no sólo por los artistas y las obras de arte de gran impacto, tapices, grabados, piezas de arte menor, todas las piezas de arte que llegaron desde el territorio de Flandes añadieron conciencia al desarrollo del arte Novohispano de la misma manera que la influencia Española.

VIDA Y OBRA DE LOS PINTORES

Simón Pereyng

Nació en Amberes en la década de 1530, donde vivió hasta el año de 1558 y donde se formó hasta el año de 1558. Después se trasladó a Lisboa, donde residió aproximadamente por nueve meses (74). En seguida se trasladó a Toledo y posteriormente a Madrid. Gastón de Peralta, Marqués de Falces, quien fuera virrey de la Nueva España, quedó impresionado con su trabajo de retratista en la corte española. En el año de 1566, Simón Pereyng viaja al nuevo mundo como parte del personal del virrey.

En el año de su arribo a la Nueva España se asoció como artista con el pintor Francisco de Morales, con quien realizó retablos en Tepeaca, Ocuila y Malinalco, los cuales lamentablemente desaparecieron (49). Lamentablemente, esta relación no resultó del todo beneficiosa para Pereyng pues es Morales quien lo denuncia ante el tribunal de la Santa Inquisición de México. En el año de 1568 Simón Pereyng fue procesado y para pagar sus faltas el artista fue condenado a pintar el retablo de Nuestra Señora de la Merced para la catedral vieja de la Ciudad de México. Los documentos correspondientes a este proceso nos han permitido tener un mejor conocimiento de la vida y obra (49).

En el año de 1569 contrajo nupcias con Francisca de Medina, nieta del conquistador sevillano Rodrigo Gutiérrez y prima hermana de María San Martín, esposa de Andrés de Concha. Se tiene documentado que en ese mismo año comenzó su participación en la realización de los retablos de la iglesia de San Agustín, donde hizo el retablo mayor y algunos colaterales trabajando en sociedad con Pedro Rodríguez; dicha participación culminó en el año de 1570 y de estos retablos lamentablemente no queda nada (49).

De 1574 hasta 1578 se asocia con Luis Arciniega para realizar el retablo mayor de la iglesia de Tula y el sagrario para la iglesia del monasterio franciscano en Tlaxcala. En el año de su muerte (1589), Pereyng realizaba el retablo mayor de la iglesia de Puebla, donde Luis Arciniega intervino para que el flamenco consiguiera el contrato ya que este era el maestro mayor de la obra (49).

Andrés de Concha y Pereyng realizaron varios retablos en la mixteca oaxaqueña: en Teposcolula realizaron el retablo mayor y otro para la capilla abierta de ese convento en el año de 1580. Este trabajo no gustó a los indígenas cuando estuvo terminado y sólo se conservan documentos de su realización. Entre el año de 1584 y 1585 realizaron el retablo mayor de la antigua catedral de la ciudad de México, conocido como “el Altar del Perdón” debido a que en él se encontraba una de sus más famosas obras, “la Virgen del Perdón”, la cual pintó como castigo impuesto por el tribunal del Santo Oficio (75), lamentablemente este retablo se perdió en el incendio que se suscitó en la catedral metropolitana en 1967 (49).

En el año de 1584 Simón Pereyng junto con Andrés de Concha fueron contratados para realizar el retablo mayor de la iglesia de Huejotzingo junto con el escultor Pedro de Requena y el dorador Marcos de San Pedro. En el contrato realizado para la realización de este retablo existe una cláusula que especifica que éste debe ser realizado por Simón Pereyng y Andrés de Concha solamente y “no de otros ningunos aunque ellos quieran” (50). Las obras pertenecientes a dicho retablo se conservan aun y están firmadas por el mismo Pereyng.



Figura 28: La Virgen del Perdón, Simón Pereyng (76)

Andrés de Concha

Andrés de Concha fue pintor, ensamblador y arquitecto. Hijo de Francisco de Concha e Isabel Sánchez (49), ambos habitantes de Sevilla, donde Andrés de Concha crece. Su formación artística en Sevilla no se conoce mucho salvo el hecho de que pertenecía al círculo del pintor manierista Luis de Vargas (77): Aunque no se tiene registro de sus actividades en esa época, Andrés de Concha es uno de los más importantes artistas provenientes de Europa que llegaron a la Nueva España en la segunda mitad del siglo XVI. En 1568, viaja a la Nueva España, incitado por el encargado del encomendero Gonzalo de las Casas. Dicho trabajo consistió en la realización del retablo de la iglesia dominica de Yanhuitlán, Oaxaca, hacia el año de 1575 (78).

Junto a Simón Pereyng realiza el retablo mayor de la iglesia de Teposcolula en el año de 1580. Se dice que la deuda que adquirieron los pobladores del pueblo con los artistas llevó a ambas partes a un conflicto tal que el mismísimo rey Felipe II tuvo que intervenir para darle solución (74). En el mismo año, se contrata a Andrés de Concha como pintor sustituto de Juan Gómez para elaborar el retablo de la iglesia de las monjas de la Concepción. En dicha obra también se encuentra identificada la intervención de Francisco de Zumaya como pintor y dorador, así como también la participación de Pedro de Requena (el autor de las esculturas de Huejotzingo) como escultor (79).

En 1584 se le contrata para la realización del retablo mayor de la iglesia de Huejotzingo, Puebla, en donde trabaja junto con Simón Pereyng como pintores, Pedro de Requena como escultor y Marcos de San Pedro como dorador. Participa en el trabajo de reparación hecho en la catedral vieja de la Ciudad de México,

después de que la construida en el año de 1525 fuera demolida en 1626, dicha participación consistió en realizar el retablo mayor de dicho templo, incluyendo los remates así como el sagrario (los cuadros de dicho retablo son atribuidos a Simón Pereyns) (49).

Viaja a la Mixteca Oaxaqueña a realizar el retablo de Coixtlahuaca, Yanhutilán, Tamazulapan y Achiutla entre los años 1576 y 1587. De las obras realizadas por el artista sólo se conservan pinturas al óleo sobre tabla de los primeros tres sitios mencionados (49). En el Retablo mayor de Tamazulapa, Oaxaca, se encuentran cuatro obras las cuales se cree que pertenecieron al retablo antiguo de dicha Iglesia ya que el actual se cree es de finales del siglo XVI o principios del XVII. Las pinturas representan *La Adoración de los Reyes*, *La Adoración de los Pastores*, *La Anunciación* y *La Presentación en el Templo* (79).

Andrés de Concha trabajó mayormente para los dominicos y los franciscanos. Realizó algunas obras para los jesuitas y también para las monjas de Regina ya que la familia de su esposa María de San Marín estaba estrechamente conectada con esta comunidad (49).

En 1601 es nombrado maestro mayor de la catedral de México, aunque el virrey le advierte que este cargo será interino ya que deseaban encontrar una persona que fuera más apta para el cargo debido a que el conde de Monterrey no creía que Concha como pintor y escultor fuera un buen arquitecto. Después de esto Andrés de la Concha pintaría dos arcos triunfales uno de la mano de Alonso Franco para el recibimiento de Don Fray García de Santa María Mendoza y, en honor del marqués de Montesclaro (49). En 1607 realiza una inspección al desagüe del Valle de México junto con Enrico Martínez y Alonso Arias. En 1610, Andrés de Concha realiza el retablo de San Gregorio Taumaturgo para la capilla, según consta en el acta del cabildo del ayuntamiento. Al año siguiente, el 1ro de noviembre de 1611, en un acta del mismo cabildo se registra que Andrés de Concha no ha terminado el encargo en el plazo establecido y pide se le otorgue un pago que se le adeudan para que finalice la obra (78).

En 1611 dibujaría planos para edificios y templos. Entre ellos elabora los planos para la Alcaicería de las casa del Marqués del Valle (49), por lo cual se abrió la calle y se levanta un arco. Como único testimonio de esto quedan los callejones de la Alcaicería y el del Arquillo, por llevar un arco en la entrada; dicho callejón en la actual calle 5 de mayo. En la última etapa de su vida (1608-1609), el pintor es nombrado como “maestro arquitecto” de la catedral de México. En esta misma época, según un documento del Archivo general de las Indias se le encarga un trazado de planta de la Ciudad de México (78).

Andrés de Concha es un caso extraordinario, ya que realiza diversas actividades artísticas de manera simultánea, se presume que era pintor, escultor, ensamblador, dorador y arquitecto. De Concha muere en 1612 (49).



Figura 29: Fotografía de la pintura "El Juicio final" de Andrés de Concha, templo de Santo Domingo, Yanhuitlán, Oaxaca. (80)

Martín de Vos

Martín de Vos fue pintor y dibujante flamenco, nacido en la ciudad de Amberes en el año de 1532. Varios de los miembros de su núcleo familiar se dedicaban al arte (81), por lo que se supone que su formación artística comenzó en casa. Hijo del pintor Pieter de Vos, el Viejo, del cual fue discípulo en su niñez; en su adolescencia Fran Floris fue su maestro. Obtuvo un temprano éxito y compartió junto con los hermanos Ambrosius Francken I y Frans Francken II el protagonismo de la pintura contrarreformista antuerpiense de finales del siglo XVII (82). Realizó numerosos cuadros de altar para instituciones religiosas y cofradías. Durante el periodo de dominio calvinista, su producción se volcó en dibujos de estampas para los mejores grabadores del momento. En 1560 se casa con Joanna Le Boucq con quien tiene ocho hijos, uno de ellos, Martín de Vos "el Joven". Martín de Vos fallece en la ciudad de Amberes en el año de 1603.

Como era costumbre de la época, en 1552 Martín de Vos viajó a Italia, viaje donde pretendía complementar su formación artística (83). Visitó las ciudades más importantes, (Venecia, Florencia y Roma), donde se cree que fue discípulo de Tintoretto. Martín de Vos solo estuvo cuatro años fuera de Amberes. En 1556 ya había regresado y su primera obra fechada data de 1562 y se trata del *Ecce Homo* perteneciente a la iglesia de San Jaime (84).

La vida artística de Martín de Vos tuvo lugar durante un periodo muy difícil en la historia del territorio de Flandes. A finales del siglo XV los Habsburgo controlaban los Países Bajos del sur y aunque la religión oficial de su reino era la católica, habían permitido que se profesaran otras religiones. Sin embargo, Felipe II estaba dispuesto a defender la fe católica y tuvo que enfrentarse a contrarreformistas protestantes y

persiguió a los calvinistas que vivían en esta región. Se cree que Martín de Vos era luterano, por lo que se supone que éste se convirtió a la religión católica para poder continuar con sus actividades artísticas en Amberes (83).

En el año de 1559, Martín de Vos recibe el nombramiento de Maestro del Arte de Pintor. Como maestro adquiere el derecho para abrir su propio taller. En 1564 inscribe en la cofradía a su primer aprendiz, Balten Vlierden. En 1566 y 1568 se desatan las protestas iconoclasta y la revuelta holandesa respectivamente dando la pauta para el comienzo de la guerra de los 80 años (83). Entre 1566 y 1585, durante el período de revueltas, Martín de Vos recibió varios encargos por parte de nobles reformistas. En 1567 es recomendado al poeta Johannes Redemacher, por el geógrafo Alejandro Farnesio tras terminar el retablo de los esgrimistas para la catedral de Amberes (84). En 1568, el influyente comerciante calvinista Gillis Hoofman le encarga cinco pinturas sobre la vida de San Pablo que servirían como decoración para su casa, el cual sería su principal mecenas durante mucho tiempo (81).

El duque Guillermo de Brunswick le hace un gran número de encargos para la capilla de su castillo de Celle (84). Realizó varias obras con motivos de animales para el duque de Mecklenburg-Shwering. En 1570 el gremio de peletero le pidió realizar la obra a la que título *Duda de Santo Tomás* la cual es una de sus obras religiosas más conocidas. Dos años más tarde, en 1572 fue nombrado decano del gremio de pintores. *El Cristo Triunfante Sobre la Muerte y el Pecado*, realizado en 1590, otra de sus obras más importantes revela un gran estilo clásico; esta obra fue pintada para el gremio de Arqueros de Flandes. (84). La última pintura realizada por Martín de Vos fue el panel central del tríptico del gremio de los pintores situado en la catedral de Amberes. Dicha obra está fechada en el año de 1602; en esta obra se puede apreciar que Martín de Vos intenta proyectarse como San Lucas santo patrono del gremio (85).

Las pinturas de Martín de Vos que llegaron a España debieron ser mediante encargos especiales. Felipe II encargó cuatro obras de temáticas variadas, lamentablemente ninguno de estos cuadros se conserva en colecciones conocidas. De las obras realizadas por este artista que se enviaron a territorio español solo se conservan nueve, estos cuadros son: *La alegoría del aire*, *La alegoría de la tierra*, *La alegoría del Agua*, *Descendimiento de Cristo*, *Ceres y Los cuatro elementos*, *El Descendimiento*, *el juicio final*, *El rapto de Europa* y *Minerva y las Musas en el Helicón* (84).

El nombre de Martín de Vos ocupa un lugar privilegiado en la producción artística de la Nueva España ya que es inevitable destacar la influencia de la pintura de este artista en el arte del nuevo mundo. Sus obras, conocidas en la Nueva España desde el último tercio del siglo XVI tuvieron gran impacto en el desarrollo del manierismo en América (84) gracias a la difusión de estampas grabadas. En México se encuentran, desde la época virreinal, 8 pinturas atribuidas a Martín de Vos, cuatro de ellas firmadas y solo una de estas se encuentra fechada. Dichas pinturas son: *San Juan escribiendo El Apocalipsis* (firmada), *Tobías y el Ángel*, *San Miguel* (firmada y fechada), *San Pedro*, *San Pablo*, *La coronación de la Virgen*, *La Anunciación a los Pastores* (firmada) y *La Última Cena* (firmada) (81). Lamentablemente se desconocen los datos de cómo y cuando llegaron, quien las encargó, cuál era su lugar de destino, etc.

Martín de Vos fue una gran influencia para los pintores de su época, tanto para los pintores de Europa como para aquellos que desarrollaron sus carreras en el nuevo mundo, algunos ejemplos de ello son los pintores Simón Pereyns, Andrés de Concha, Luis Juárez y Baltasar de Echave Orio.



Figura 30: San Juan Escribiendo el Apocalipsis, óleo sobre tabla (catedral de Cuautitlán). Pintado por Martín de Vos, 1581. (86)

PINTURAS Y ESCULTURAS DE LA CALLE IZQUIERDA DEL RETABLO MAYOR DEL TEMPLO DEL EX - CONVENTO DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL, HUEJOTZINGO, PUEBLA.

Las pinturas pertenecientes al retablo mayor del Templo del Ex – convento de San Miguel Arcángel fueron hechas por el pintor flamenco Simón Pereyng. En el año de 1584 se firma el contrato entre el pueblo de Huejotzingo y el artista para que realice el retablo mayor de la iglesia de dicha ciudad; lo concluyó en el año de 1586 por lo que se sabe que las piezas artísticas que lo conforman fueron realizadas en este periodo, pero no se sabe en qué año exactamente. La fecha en la que fue terminada la obra y la firma del pintor están registradas en el cuadro que presenta a *Santa María Magdalena* (74). Las pinturas de dicho retablo se ejecutaron utilizando la técnica óleo sobre tabla la cual es una clara característica de la tradición del arte del Norte de Europa.

A pesar de que las obras del retablo se le atribuyen a Simón Pereyng, debido a que el contrato hecho para la realización del retablo especifica que las pinturas deben estar a cargo de Simón Pereyng y Andrés de Concha. Se cree que este último colaboró con Pereyng para su realización, sin embargo, esta colaboración aún está en entredicho. Aunque se creen que la contribución de Andrés de Concha estuvo más enfocada a la estructura arquitectónica y decoración del retablo (50).

Pedro Requena aparece en los documentos como autor de las esculturas estas obras fueron hechas a base de diseños realizados por Simón Pereyng. Esto limita la aportación de Pedro Requena solo al aspecto

técnico y no a la idea de las obras se presume realizó. En otras palabras, se considera sólo como el tallador de las esculturas del retablo y no precisamente como escultor. En rostros de las esculturas realizadas por Requena se observa la finura y detalle en el tratamiento de los rostros, manos y uñas. También se pueden observar patrones en los rasgos fisionómicos como en la forma de la vestimenta de cada apóstol. En el caso de *San Gregorio* y *San Agustín*, la espesa barba y el bigote que ambas esculturas presentan hacen que dichas imágenes tengan un gran parecido entre sí (50).

La forma en que están representadas a las figuras venerables no es exclusiva de Requena, más bien es una tradición artística que proviene de la moda italiana. Estas estatuas también ostentan sobre su mano izquierda una pequeña iglesia sobre un libro que hace alusión a que ellos fueron los padres de la iglesia.

SUSANA Y LOS VIEJOS DE MARTÍN DE VOS

La pintura *Susana y los Viejos* del pintor Martín de Vos es un óleo sobre tabla la que se presume fue realizada en el año de 1560 y actualmente se forma parte de la colección Pérez Simón y se encuentra localizada en México. Esta obra pertenece a la corriente artística conocida como *Manierismo*, la cual se desarrolla en Europa a lo largo del siglo XVI, y que llegó a nuestro país después de la conquista española. Esta corriente artística produjo obras de gran belleza a los dos lados del Atlántico, las cuales fueron una respuesta a las reglas de proporción, simetría y perspectiva imperantes en el Renacimiento (87).



Figura 31: Susana y los Viejos de Martin de Vos. (88)

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para realizar los análisis necesarios que nos permitieran determinar la paleta de colores que fue utilizada en las obras estudiadas en este proyecto, se utilizaron tres técnicas de imagen y una técnica de espectroscopia atómica.

Las técnicas de imagen utilizadas fueron: fotografía con luz visible, fotografía con luz infrarroja e imagen infrarroja de falso color. Estas se utilizaron para llevar a cabo un análisis global de las obras y poder identificar puntos de interés para el análisis puntual. La fotografía de luz visible se utiliza para tener un registro de las obras a estudiar que permitieran identificar puntos de interés a simple vista. La fotografía infrarroja e imagen de falso color se utilizaron para poder determinar puntos de interés para el análisis puntual que no pueden ser percibidos a simple vista. La imagen infrarroja de falso color también se utiliza para realizar una identificación preliminar de los pigmentos con los que las obras fueron realizadas.

Para llevar a cabo los análisis mediante técnicas espectroscópicas se utilizó la espectroscopia de Fluorescencia de rayos X (XRF). Dicha técnica nos permite hacer un análisis puntual y así poder obtener la composición elemental de los pigmentos que componen las obras y de esta forma identificar los pigmentos de una manera más adecuada.

El uso de estas técnicas analíticas permitirá llevar a cabo una comparación entre los resultados obtenidos para así poder determinar si las hipótesis que se propusieron al principio de este proyecto son correctas.

Para el estudio de las obras que se encuentran en el templo del ex - convento de San Miguel Arcángel en Huejotzingo, Puebla, fue necesario el montaje de un andamio ya que las pinturas no pueden ser desmontadas de dicho retablo. El andamio permitió realizar el estudio de dichas obras de una manera más efectiva gracias a que tenía niveles desmontables los cuales se podían colocar una altura y posición adecuada haciendo posible una mejor movilidad de los equipos para que se alcanzaran todas las áreas de interés en las pinturas. La colocación del andamio también permitió llevar el acabo el análisis de las pinturas de manera simultánea. Esto ayudó a realizar el estudio de las cuatro pinturas y dos esculturas analizadas en una semana. La Pintura de *Susana y los Viejos* fue estudiada en el Museo Nacional de San Carlos en la Ciudad de México. Para el estudio de las esculturas fue necesario desmontar éstas del retablo y fueron colocadas en una zona dentro del templo que fue asignada para esta tarea.

El esquema general de trabajo para la realización de los estudios correspondientes para cada una de las obras fue el siguiente:

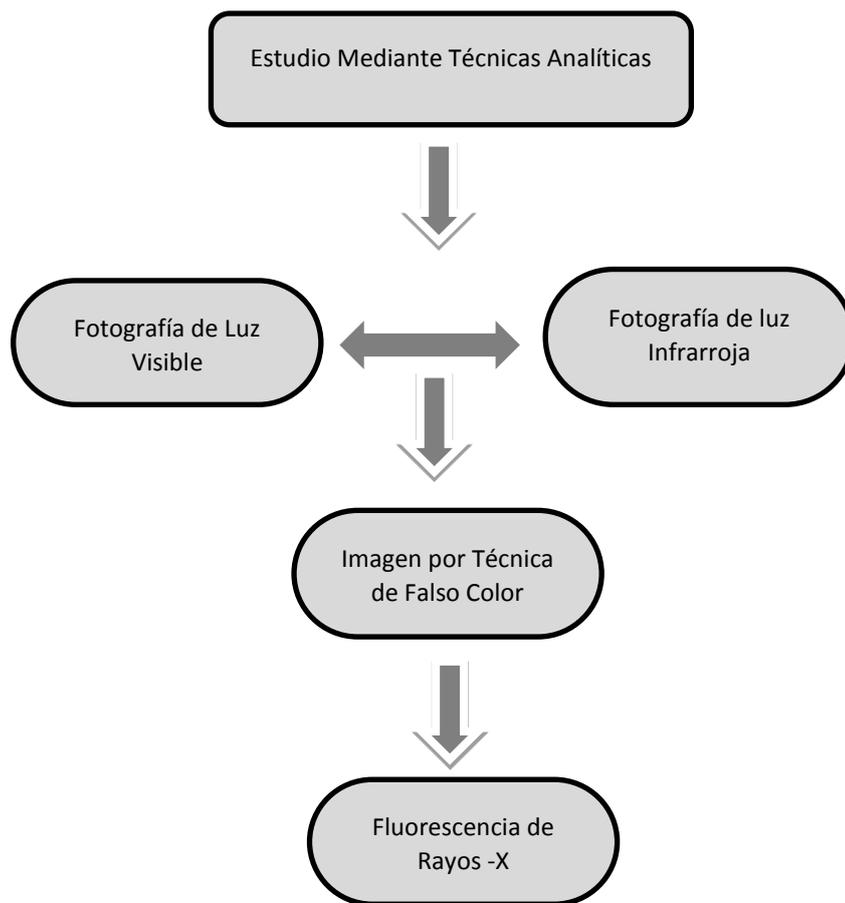


Figura 32: Esquema general de trabajo

INSTRUMENTACIÓN Y CONDICIONES DE ESTUDIO

Técnicas de imagen

Para realizar los estudios de técnicas de imagen fue necesario el uso de una cámara fotográfica Sony Handy Cam HDR-PJ760V10, la cual utiliza un sensor CMOS Exmor R. Las imágenes de fotografía infrarroja fueron realizadas en modo *Nightshot* de dicha cámara y con un filtro Hoya IR72. Para obtener las fotografías infrarrojas las obras se iluminaron con lámparas de Halógeno las cuales se caracterizan por tener una alta emisión de radiación infrarroja.

Después de tomar las fotografías digitales con la cámara fotográfica fue necesario realizar el procesamiento de dichas imágenes. Utilizando las fotografías de luz visible e infrarroja y con ayuda del programa Photoshop se pudieron obtener las imágenes infrarrojas de falso color. Estas imágenes se obtienen al superponer las fotografías tomadas con luz visible (RGB) y las de luz infrarroja (IR) realizando un corrimiento de las longitudes de onda de tal manera que al verde se le asignó el color azul, al rojo el color verde y a la radiación infrarroja se le asignó el rojo.

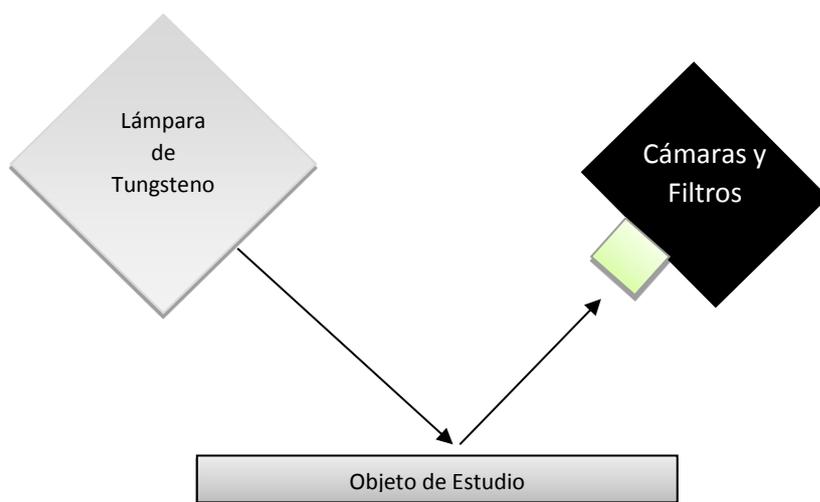


Figura 33: Esquema de la toma de fotografía infrarroja.

Para el caso de las esculturas además de realizar las fotografías de la obra completa también se hicieron tomas fotográficas por secciones de cada una de ellas ya que la toma de fotografías de la obra completa no permitía apreciar todos los detalles.

Las técnicas de imagen que se utilizaron para llevar a cabo esta primera parte del estudio se han venido utilizando con gran éxito en la investigación de los pigmentos de la pintura mural prehispánica, cerámica y documentos así como en el estudio de la pintura Novohispana. De los trabajos previos realizados con dichas técnicas en la pintura Novohispana podemos obtener información valiosa de los pigmentos característicos de la época (6) (89).

Análisis de Fluorescencia de Rayos-X

Las técnicas de análisis no destructivas han tomado una gran importancia en los últimos años debido a la necesidad de conservar y preservar el patrimonio cultural se ha convertido en un tema de gran relevancia en aquellos países de gran riqueza cultural y artística (90). La fluorescencia de rayos-X (XRF) ha jugado un papel muy importante en el estudio del patrimonio artístico, histórico y cultural ya que gracias a su naturaleza no destructiva permite estudiar las obras sin que éstas sean dañadas. La combinación de las diferentes técnicas de análisis no destructivo ha sido de gran valor para los arqueólogos, restauradores e historiadores del arte ya que les ha permitido obtener valiosos datos sobre la procedencia, estado de conservación, composición y procedencia de los diferentes objetos que se han sido analizados (31) (90). Ejemplos de esto son los resultados obtenidos en el estudio de las pinturas de caballete, el estudio de códices, vasijas antiguas, piezas cerámicas, entre otros.

En el caso particular de este proyecto, se utilizaron dos sistemas de Fluorescencia de Rayos-X gemelos. Dichos equipos fueron denominados SANDRA (Sistema de Análisis No Destructivo por Rayos X) 1 y 2 y fueron desarrollados en el Instituto de Física (91) de la UNAM como parte del proyecto ANDREAH (Análisis no Destructivo para el Estudio in Situ del Arte, la Arqueología y la Historia. Estos equipos fueron diseñados de tal manera que se pudiera tener un manejo fácil del tubo de Rayos-X y que fuera seguro tanto para el usuario como para los diferentes objetos de estudio.

Los Equipos SANDRA cuentan con diversos componentes que los hacen portátiles y resistentes para facilitar su uso y trasportación lo cual los convierte en equipos muy útiles para los análisis *in situ* (figura 34 y 35). Las características de estos se enlista a continuación:

Dispositivos de emisión de Rayos-X, Detección e Interpretación (91)

- Un tubo de Rayos-X de Molibdeno (Mo) modelo XTF5011 de Oxford Instruments, ventana de Berilio de 125 μ m y cuenta con un colimador para regular el diámetro de los rayos X, dicho diámetro puede ser de 0.5mm, 1.0mm y 2.0mm.
- Un detector tipo Si-PIN, modelo XR-100T-CR de Amptek y se encuentra en un ángulo de 45° grados en relación a la emisión de los Rayos-X. Este detector tiene un área activa de 6mm² y 50 μ m de espesor y una ventana de Berilio con un espesor de 0.5 μ m. la punta del detector está protegida con un cono de aluminio que cuenta con una abertura de 4mm de diámetro. La resolución alcanza a 5.9keV es de 180eV.
- Un sistema de 2 láseres que permite ubicar la posición de la zona de análisis cuando estos se interceptan y permite localizar la emisión de Rayos-X a 8mm del colimador
- Un sistema de tres ventiladores para regular la temperatura del tubo de Rayos-X la cual no debe exceder los 50°C.
- Una cámara Web que permite tomar fotografías de la zona de análisis así como observar la zona de interés cuando esta es de difícil acceso.
- Un soporte X-Y-Z que permite un desplazamiento de 3 cm en cada una de estas direcciones de todos los componentes del dispositivo, dicho soporte también puede girarse para cambiar la configuración geométrica de los desplazamientos. Esto permite alcanzar puntos de difícil acceso en las obras a estudiar.
- Un termopar que se conecta al tubo de Rayos-X para poder monitorear la temperatura del tubo durante las mediciones.

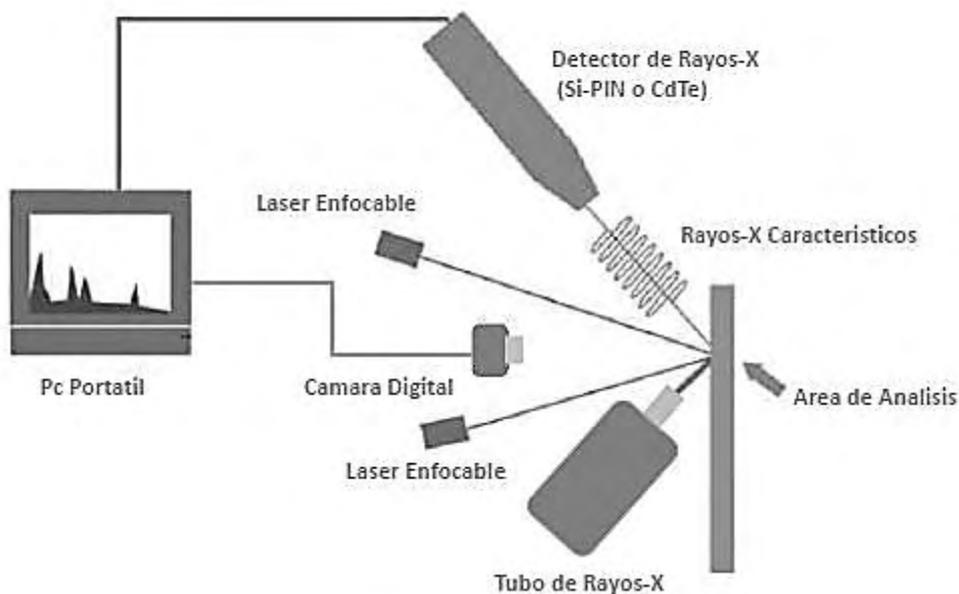


Figura 34: Esquema de los equipos SANDRA. Modificado de (92)

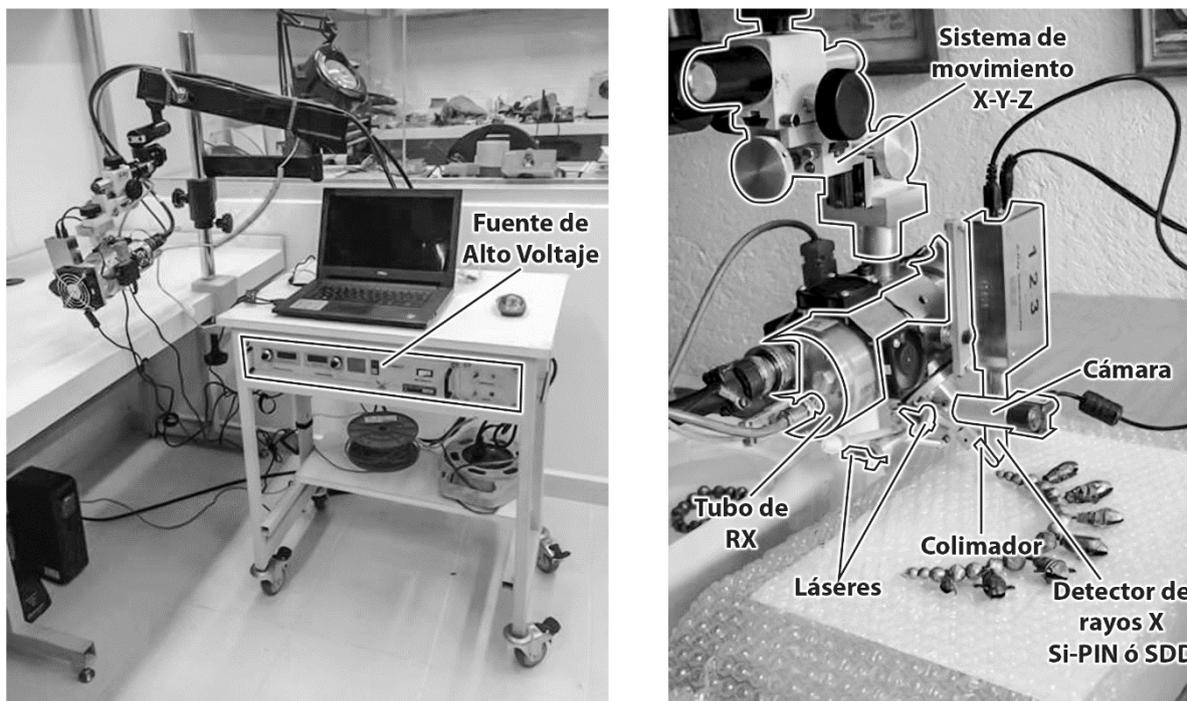


Figura 35: Dispositivo de Rayos-X y detección de los equipos SANDRA. Modificado de (93)

Mesa de Operaciones (91)

- Fuente de Alto Voltaje modelo XLG50P100 de Spellman con la que se alimenta el tubo de rayos-X.
- Controles en la fuente que permiten modificar las condiciones de voltaje y corriente, botones de encendido y apagado para el sistema de láseres, el tubo de Rayos-X y la misma fuente.
- Una computadora portátil equipada con el programa ADMCA el cual permite adquirir los espectros del objeto de estudio.
- Cables de alto voltaje y cable de tierra.

Soporte:

- ❖ Soporte con ruedas para facilitar el transporte del equipo. Dicho soporte permite el desplazamiento horizontal y vertical del dispositivo.

Tanto las pinturas como las esculturas fueron estudiadas en condiciones similares debido a que en todos los casos se quería conocer la composición elemental de los pigmentos que componían las obras. Se trabajó en un rango de corriente 0.070mA -0.150mA y un voltaje de 45keV, con un tiempo de adquisición de 90 s por cada punto a excepción de Susana y los Viejos donde el tiempo de adquisición fue de 120s por cada punto. En total se adquirieron un total de 1120 espectros los cuales se analizaron con el programa AXIL; este es un programa especializado para la detección de rayos-X característico.

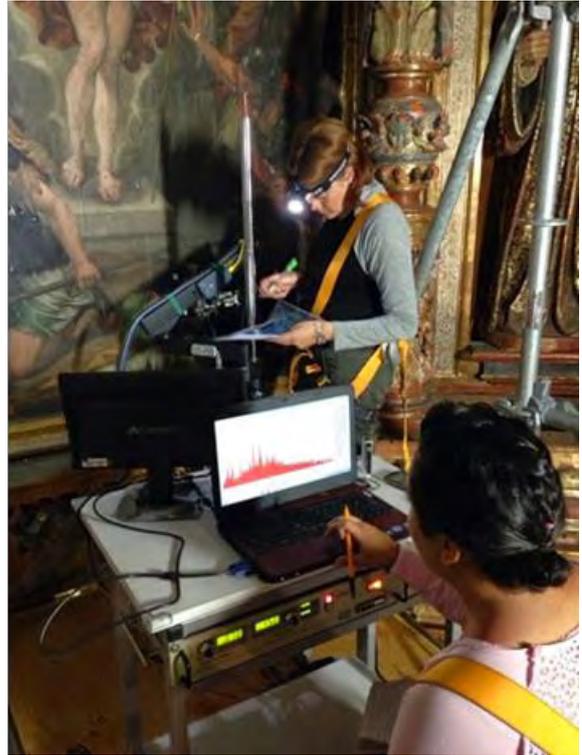


Figura 36: Análisis de XFR utilizando el equipo SANDRA en La Circuncisión y La Resurrección respectivamente (93)



Figura 37: Análisis de XRF en la escultura San Gregorio (93)

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS E INTEPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La teoría expuesta en los capítulos anteriores acerca de la forma en la que interacciona la luz con la materia es de suma importancia para este estudio ya que son estas interacciones las que nos proveen de las diferentes técnicas espectroscopias y de imagen que pueden ser utilizadas para el estudio de obras de arte de interés histórico y cultural. En el caso de las técnicas utilizadas en este trabajo de tesis la reflexión, absorción y emisión de radiación electromagnética son de suma importancia ya que son dichas interacciones las que nos proveen de los datos necesarios para realizar nuestro análisis y así poder obtener resultados que brinden información acertada y circunstancial sobre la composición de los materiales utilizados para la realización de los objetos de interés.

En el caso de la técnica de falso color como ya se dijo anteriormente, los objetos son irradiados con lámparas que emiten altas cantidades de radiación infrarroja provocando que esta interactúe con las obras a analizar. La reflexión y emisión de radiación infrarroja por las piezas es captada por una cámara fotográfica con un filtro especial dándonos así una imagen en escala de grises que es esencial para la realización de esta técnica. Por otro lado, en el caso de la Fluorescencia de rayos-X, la absorción de una onda electromagnética de rayos -X provoca la emisión de uno o más electrones pertenecientes a las capas internas un átomo, haciendo que electrones de las capas externas desciendan para ocupar estos huecos, esto provoca que dichos electrones emitan radiación electromagnética conocida como rayos-X característicos haciendo posible la identificación de los materiales que componen un objeto.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del estudio. Como ya se dijo anteriormente, los análisis están enfocados a determinar la composición elemental de los pigmentos con los que las diferentes obras fueron realizadas. Debido a la cantidad de datos adquiridos para cada una de las obras, las imágenes con los puntos de análisis así como algunas tablas de resultados que sirven como auxiliares para la interpretación de los que se exponen en este capítulo, se encuentran en los apéndices correspondientes a cada una de las obras. La exposición de los resultados obtenidos se divide en dos bloques, el primero corresponde a aquellos obtenidos a través de las técnicas de imagen y el segundo a los resultados obtenidos a través de Fluorescencia de Rayos-X. En dichos bloques se presentan los resultados de cada una de las pinturas en el siguiente orden: Susana y los Viejos, María Magdalena, La Adoración de los Pastores, La Circuncisión, La Resurrección, la escultura de San Gregorio y la escultura de San Agustín.

TÉCNICAS DE IMAGEN

Para conducir el análisis mediante técnicas de imagen fue necesario recurrir a estudios previos que se realizaron sobre muestras de referencia de pintura del siglo XVI (6) (89). Dichas muestras fueron preparadas siguiendo recetas originales (6) para así poder obtener resultados útiles y más cercanos al problema de una obra de arte. A continuación presentamos las imágenes de las muestras de referencia utilizadas en el desarrollo de esta sección, la primera foto fue tomada con luz visible y la segunda es la imagen obtenida después de llevar a cabo el proceso para obtener la imagen de falso color. Para el proceso de las fotografías de falso color se utilizaron las imágenes de luz visible y de luz infrarroja de 760nm.



Figura 38: Tablas de pigmentos de referencia utilizadas para realizar el estudio comparativo de los resultados obtenidos mediante las Técnicas de Imagen. Fotografía tomada por D. Ma. Aguilar Téllez.

A los pigmentos de referencia se les asigna una letra con la cual los podemos identificar en la tabla 2. En dicha tabla se enlista como se observan los pigmentos de referencia al someterlos al procedimiento de imagen infrarroja de falso color. Comparando la forma en la que se observan dichos pigmentos en las obras en la imagen infrarroja de falso color podemos realizar un análisis comparativo para determinar cuáles fueron los pigmentos con los que las piezas de interés fueron realizadas.

Tabla 2: Color observable de los pigmentos muestra después de haber aplicado la Técnica de Falso Color (34).

<i>Pigmentos</i>	<i>Color en luz Visible</i>	<i>Color después del Procedimiento del FC</i>
Tierra (ocre oscuro)(f), Cyprian sombra tostada (g), Siena natural(h), Siena tostada(i), asfalto (j)	Café	Amarillo- Café
Oropimente(b), amarillo de plomo- estaño(c)	Amarillo	Blanco pálido
Ocre(a), tinte de soldadura (d) y (e)	Amarillo	Verde-café-amarillo
Bermellón(k), hematita(l), rojo de plomo (m)	Rojo-Naranja	Amarillo-Naranja
Cochinilla(n), Alizarina(o), Laca rubia (p)	Rojo-Violeta	Rosa-Naranja
Azurita(q)	Azul	Azul oscuro
Esmalte(r), Azul Ultramar/ Lapislázuli(s), índigo(t)	Azul	Rojo-Violeta
Resinato de cobre o verdigris (u)	Verde	Azul
Malaquita(v)	Verde	Azul Brillante/ Azul-Violeta
Tierra verde(w)	Verde	Verde Violeta
Negro de hueso (x), Negro de vid/ Negro de carbón (y)	Negro	Negro

Para realizar el análisis comparativo de la manera más adecuada se seleccionan los puntos de análisis correspondientes a las zonas donde pareciera ser que los pigmentos se aplicaron en su forma más saturada. En los apéndices A1-A7 se encuentran las imágenes donde se muestran todos los puntos de análisis de cada una de las obras estudiadas. En esta sección sólo mencionaremos los puntos que se seleccionaron para el análisis comparativo visual. Después se presenta una comparación entre los resultados obtenidos mediante el análisis de falso color y los obtenidos utilizando la Fluorescencia de Rayos-X.

A continuación presentamos las imágenes de luz Visible y las imágenes de falso color junto con los resultados obtenidos siguiendo el orden que se expuso al principio de este capítulo.

PINTURAS

Susana y los Viejos



	Visible		Falso Color			
Amarillo	p.11	a)	c)	p.29	a)	c)
	p.1	r)		p.1	r)	
Azul	p.77	f)	h)	p.77	f)	h)
Café	p.74	x)	y)	p.74	x)	y)
Negro	p.31	k)		p.31	k)	
Rojo	p.30	u)	v)	p.30	u)	v)
Verde			w)			w)

Figura 39: *Susana y los Viejos*, imagen en luz visible y después de aplicar la técnica de falso color. La imagen de falso color se presenta el análisis comparativo entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 3: Identificación de pigmentos utilizando la técnica de falso color, *Susana y los Viejos* (34) (93).

Punto de Análisis	Color en el Visible	Color después del Procedimiento de FC	Posible Pigmento Asociado
p.11	Amarillo	Verde-café-amarillo	Ocre
p.1	Azul	Rojo	Esmalte
p.77	Café	Café-Amarillo	Tierras , Siena natural
p.74	Negro	Negro	-----
p.31	Rojo	Amarillo brillante	Bermellón
p.30	Verde	Violeta	A partir de esmalte y amarillo
p.57	Verde	Violeta	A partir de esmalte y amarillo

En el caso de las coloraciones verdes, la comparación directa con los colores puros no coincide por lo que es muy probable que este color sea el resultado de la combinación de un azul y un amarillo. En este caso es muy posible que los colores verdes se hayan generado a partir de esmalte por los tonos violetas observados en falso color.

Por otra parte, en el caso de los colores negros no es posible diferenciarlos porque todos se observan del mismo color negro en la imagen infrarroja de falso color por lo que no es posible su identificación.

María Magdalena

Visible



Falso Color



	Visible			Falso Color		
Amarillo	p.46	a)		p.46	a)	
Café	p.18	f)	h)	p.18	f)	h)
Negro	p.45	x)	y)	p.45	x)	y)
Rojo	p.2	k)	l)	p.2	k)	l)
Verde	p.27	u)	w)	p.27	u)	w)

Figura 40: *María Magdalena*, imagen en luz visible y después de aplicar la técnica de falso color. La imagen de falso color se presenta el análisis comparativo entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 4: Identificación de pigmentos utilizando la técnica de falso color, *María Magdalena*. (34) (93).

Punto de Análisis	Color en el Visible	Color después del Procedimiento de FC	Posible Pigmento Asociado
p.46	Amarillo	Amarillo-Cafe	Ocre
p.18	Café	Café-Amarillo	Tierras, Siena natural
p.45	Negro	Negro	-----
p.2	Rojo	Amarillo	Bermellón, Hematita
p.27	Verde	Violeta	A partir de esmalte y amarillo

Al observar la imagen de luz visible de la pintura de *María Magdalena* podemos ver que los colores de ésta se perciben en su mayoría como tonos cafés o negros. Esto se puede deber a que el barniz se ha degradado de tal manera que afecta la forma en que percibimos los colores de los pigmentos. Otra posibilidad es la alteración del aglutinante y de pigmentos tales como el esmalte cuya coloración azul se torna grisácea.

En general, el barniz no sólo cumple una función protectora sino que también se suele aplicar para dar más brillo y saturación a los colores, realza los detalles en zonas oscuras y brinda un brillo uniforme a la obra (94) (95). Sin embargo, es bien sabido que el barniz es la parte más vulnerable de una pintura ya que es la que tiene contacto directo con el ambiente y son sus efectos los que provocan que el barniz se degrade rápidamente. Los procesos de auto-oxidación provocan que las capas de barniz se vuelvan opacas, se agrieten y se vuelvan amarillentas. Esto provoca que la o las capas de barniz que se aplicaron para protección de la pintura oscurezcan las imágenes que hay debajo, motivo por el cual la capa de barniz es reemplazada con regularidad al llevar acabo las restauraciones, lo que puede ocasionar que se dañen las obras. Esto convierte al deterioro del barniz es un problema de gran importancia para la conservación de pinturas (94).

Las resinas naturales suelen ser muy brillantes, y estas solían ser las más populares entre los *viejos Maestros*. Sin embargo, el efecto final depende de la forma en la que esta sea aplicada. En ocasiones los barnices solían tener una composición similar a la del aglutinante utilizado para la realización de la pintura. En un principio solían utilizarse aceites como barnices, después estos fueron reemplazados por “barnices de aceite esencial”, mencionados primeramente en Italia en el siglo XVI, los cuales eran una mezcla de resinas naturales y solventes volátiles, usualmente aceite de trementina. Las resinas más comunes utilizadas para los barnices de aceite esencial fueron probablemente la masilla (mastic), la sandárica y la colofonia, aunque también se ha mencionado la trementina de Venecia (95). Las resinas naturales consisten principalmente en diterpenoides y triterpenoides, los cuales se oxidan rápidamente y cuando se aplican en capas delgadas causando que se opaque, se vea amarillento y se craquéele (95).

La habilidad de un barniz para resaltar los colores y dar brillo a una obra depende de varios factores: la cantidad de aglutinante utilizado para la realización de la obra y la rugosidad de su superficie, los índices de refracción de la superficie de la pintura y del barniz, la transmitancia, la reflexión especular y dispersa producida por el barniz, el peso molecular de la resina utilizada y la rugosidad de su superficie. Sin embargo, son el índice de refracción de la resina que se utiliza como barniz y su peso molecular, RI y MW respectivamente (por sus siglas en inglés), los aspectos más importantes en la forma en como percibimos la apariencia de una pintura ya que estos juegan un papel muy importante en las propiedades ópticas de dichos materiales (94) (95) (96).

El brillo de una superficie es esencialmente una función de su rugosidad. Las superficies lisas son brillantes debido a un alto grado de reflexión especular; en general, entre menor sea el peso molecular de una resina, mejor será para generar una superficie lisa debido a que presentan una baja viscosidad lo

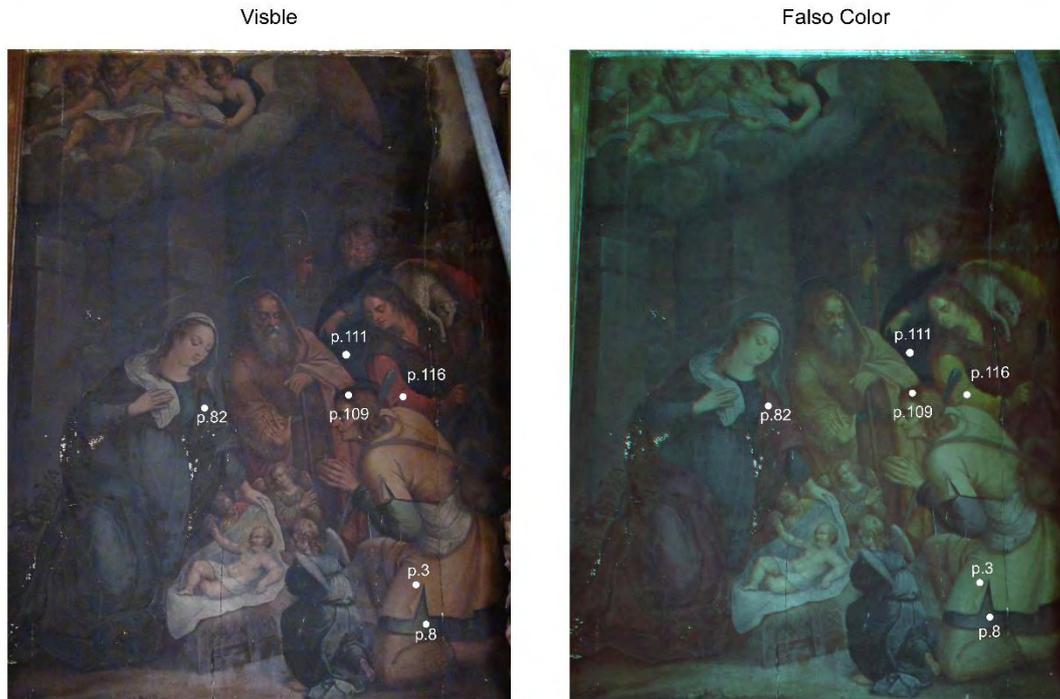
que ayuda a que ésta sea más manipulable y se puedan crear capas delgadas sobre la pintura. Esto provoca que la reflexión causada por el cambio del índice de refracción entre dos ambientes, en este caso el aire y el barniz, denominado reflexión de la primera superficie, ocurra en gran medida en la dirección especular (95) (96). En cambio, si la superficie sobre la que incide la luz es rugosa la reflexión de ésta es difusa, en el caso de una pintura podría asemejarse al efecto que produciría pintar una capa blanca translúcida sobre la pintura. Por lo tanto, la reducción de la rugosidad de la superficie da como resultado un aumento del contraste de colores, de la calidad de imagen y un mayor brillo en comparación con la de una pintura que tiene una alta rugosidad superficial (96).

Con el incremento o disminución del valor del índice de refracción, mayor o menor luz es reflejada en una superficie, ya que como sabemos, la diferencia entre los valores del índice de refracción de dos medios provoca que parte de la luz que incide sobre dicha interfaz sea reflejada. Esto provoca que entre mayor sea la diferencia entre los índices de refracción del barniz y la superficie de la pintura, mayor será la luz reflejada por esta última, provocando más reflexiones internas dentro del barniz (96). En una pintura al óleo barnizada, suponiendo que es una superficie lisa podemos observar que se producen tres fenómenos principalmente. El primero ocurre cuando la luz incide sobre la interfaz aire-barniz. Parte de ella es reflejada debido a la diferencia entre los valores de los índices de refracción de ambos medios. La luz que se transmite a través del barniz experimenta también una reflexión, esta vez causada por la diferencia entre los índices de refracción del barniz y la superficie de la pintura. Después la luz reflejada vuelve a llegar a la interfaz aire-barniz sufriendo nuevamente otra reflexión; esto ocurre indefinidamente causando una serie de reflexiones internas en el barniz. La luz transmitida a través del barniz es reflejada y transmitida. La luz que logra atravesar la capa de pintura es una luz difusa y también sufre reflexiones internas al regresar a la interfaz barniz-pintura. La luz que logra transmitirse a través de esta interfaz para salir de la capa de pintura también es difusa. Es decir, la luz que incide sobre una pintura barnizada se refleja en los dos lados de la capa de barniz, es decir en la interfaz aire-barniz y barniz-pintura. La cantidad de reflexiones depende del ángulo de incidencia de la iluminación, del grado de polarización y del índice de refracción del barniz en relación con su entorno circundante. (96).

Debido a las reflexiones que se llevan a cabo en la interfaz barniz-pintura es recomendable que los barnices que se utilizan tenga un índice de refracción similar al del medio aglutinante ya que es este el que mayormente define el índice de refracción de la superficie de una pintura (95) (96). El cambio en la reflectancia causado por el barnizado depende de si el barniz tiene un RI mayor o menor que el RI de la superficie de la pintura. Para los barnices con un RI más bajo que la superficie de la pintura, el barniz aumenta la reflectancia difusa. Dicho efecto disminuye entre más parecidos sean los RI del barniz y la superficie de la pintura. Para los barnices con un RI más pequeño que el de la superficie de la pintura, el barnizado reduce la reflectancia difusa, esto implica que la reflectancia difusa y la reflectancia interna aumentan o disminuyen dependiendo de la diferencia que exista entre los RI del barniz que se utilice y la superficie de la pintura (96).

Estudios previos realizados sobre pinturas sin barnizar y pinturas barnizadas han mostrado que con un aumento en el índice de refracción de la superficie de la pintura, más luz se refleja de nuevo en la capa de pintura, lo que resulta en una disminución de la reflectancia difusa, es decir, cuanto mayor es el índice de refracción, más oscuro es el color. Esto puede contribuir a que las pinturas al óleo parezcan cada vez más oscuras a medida que envejecen, ya que el índice de refracción del aceite que se ha utilizado pudo aumentar con el envejecimiento lo que provocaría más reflexiones difusas dentro de la capa de barniz haciendo de que imagen pierda nitidez y los colores pierdan claridad. Es decir, aplicación de un barniz con un índice de refracción menor que la superficie de la pintura aumenta el brillo, del modo contrario si el barniz tiene un índice de refracción más alto que el de la superficie de la pintura, el brillo disminuye. (94) (95) (96).

La Adoración de los Pastores



	Visible			Falso Color		
	p.3	a)		p.3	a)	
Amarillo						
	p.82	q)		p.82	q)	
Azul						
	p.109	f)	h)	p.109	f)	h)
Café						
	p.111	x)	y)	p.111	x)	y)
Negro						
	p.116	k)	l)	p.116	k)	l)
Rojo						
	p.8	u)	w)	p.8	u)	w)
Verde						

Figura 41: *La Adoración de los Pastores*, imagen en luz visible y despues de aplicar la técnica de falso color. La imagen de falso color presenta el analisis comparativo entre entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

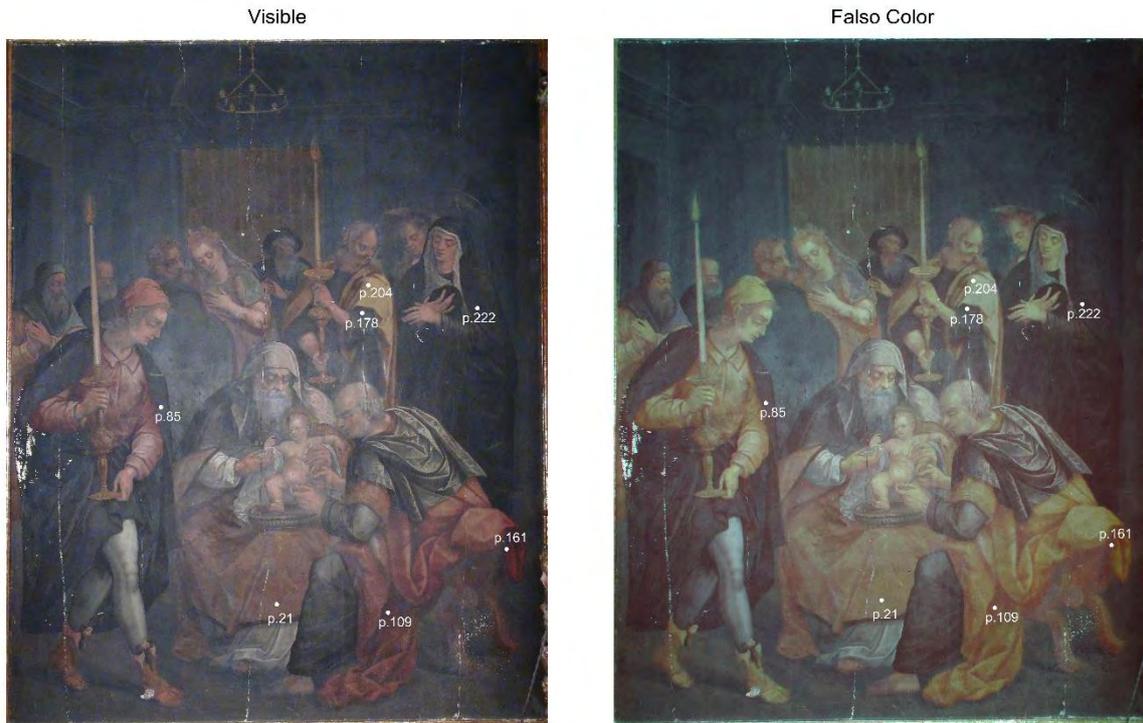
Tabla 5: Identificación de pigmentos utilizando la técnica de falso color, *La Adoración de los Pastores* (34) (93).

Punto de Análisis	Color en el Visible	Color después del Procedimiento de FC	Posible Pigmento Asociado
p.3	Amarillo	Verde-café-amarillo	Ocre
p.82	Azul	Violeta	Azurita
p.109	Café	Café-Amarillo	Tierras, Siena natural
p.111	Negro	Negro	-----
p.116	Rojo	Amarillo	Bermellón, Hematita
p.8	Verde	Verde-Azul	-----

Los colores azules en esta pintura presentan dos colores en la imagen de falso color (manto de la virgen y túnica de la virgen). En este caso solo fue posible la identificación de uno de los azules (p.82). Para el segundo azul la identificación no es clara, probablemente se trata de una mezcla de otro color azul, posiblemente esmalte. Esta es una de las limitaciones de esta técnica en la cual se mezclan las informaciones de los dos pigmentos. En otros casos de mezclas de pigmentos se observa que uno de ellos domina en cuanto a la intensidad de la reflexión en el intervalo de luz infrarroja.

En cuanto a los verdes también se encontraron dificultades para hallar una clara correspondencia con alguno de los pigmentos.

La Circuncisión



	Visible				Falso Color			
Amarillo	p.204	a)			p.204	a)		
Azul	p.85	q)			p.85	q)		
Café	p.21	f)	h)		p.21	f)	h)	
Negro	p.222	x)	y)		p.222	x)	y)	
Rojo	p.161	k)	l)		p.161	k)	l)	
Laca roja	p.109	n)	p)	o)	p.109	n)	p)	o)
Verde	p.178	u)	w)		p.178	u)	w)	

Figura 42: *La Circuncisión*, imagen en luz visible y después de aplicar la técnica de falso color. La imagen de falso color presenta el análisis comparativo entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF-UNAM.

Tabla 6: Identificación de pigmentos utilizando la técnica de falso color, *La Circuncisión*. (34) (93)

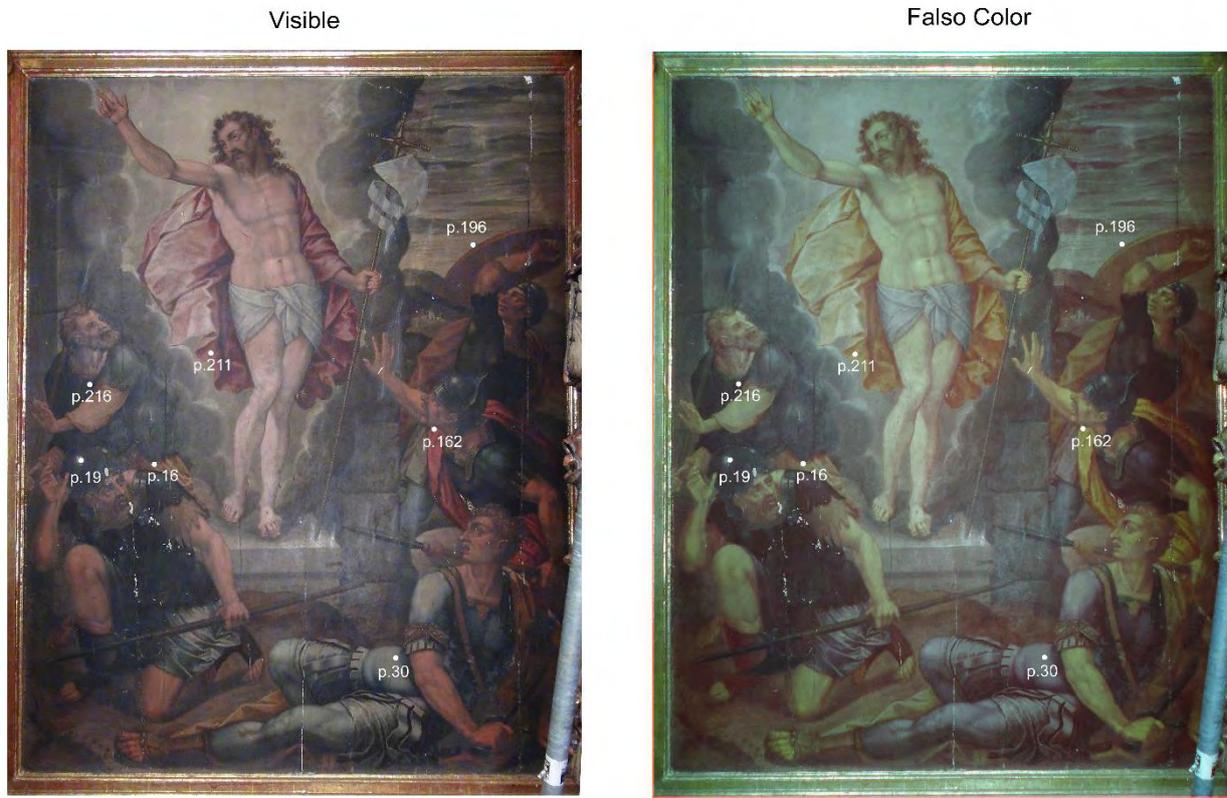
Punto de Análisis	Color en el Visible	Color después del Procedimiento de FC	Posible Pigmento Asociado
p.204	Amarillo	Verde-Café-Amarillo	Ocre
p.85	Azul	Violeta	Azurita
p.21	Café	Café-Amarillo	Tierras, Siena natural
p.222	Negro	Negro	-----
p.161	Rojo	Amarillo-Naranja	Bermellón, Hematita
p.109	Laca roja	Naranja-Amarillo	-----
p.178	Verde	Violeta	A partir de esmalte y amarillo
p.61	Verde	Violeta	A partir de esmalte y amarillo
p.23.	Verde	Violeta	A partir de esmalte y amarillo

En este caso se propone que el verde se forma a partir de la combinación de esmalte y un pigmento amarillo, probablemente ocre.

En el caso de las lacas rojas estas se observan en colores anaranjados pero no es posible establecer a que tipo de laca corresponde.

Por otra parte, se observa el mismo comportamiento en cuanto a los colores azules.

La Resurrección



	Visible			Falso Color			
Amarillo	p.216	a)		p.216	a)		
	p.30	q)		p.30	q)		
Azul	p.196	f)	h)	p.196	f)	h)	
Café	p.19	x)	y)	p.19	x)	y)	
Negro	p.162	k)	l)	p.162	k)	l)	
Rojo	p.211	n)	p)	p.211	n)	p)	o)
Laca roja	p.16	u)	w)	p.16	u)	w)	
Verde							

Figura 43: *La Resurrección*, imagen en luz visible y después de aplicar la técnica de falso color. La imagen de falso color se presenta el análisis comparativo entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 7: Identificación de pigmentos utilizando la técnica de falso color, *La Resurrección*. (34) (93)

Punto de Análisis	Color en el Visible	Color después del Procedimiento de FC	Posible Pigmento Asociado
p.216	Amarillo	Verde-Café-Amarillo	Ocre
p.30	Azul	Violeta	Azurita
p.196	Café	Café-Amarillo	Tierras, Siena natural
p.19	Negro	Negro	-----
p.162	Rojo	Amarillo	Bermellón, Hematita
p.211	Laca roja	Café-Naranja	-----
p.16	Verde	Violeta	Resinato de cobre

Las observaciones en cuanto a la identificación concuerdan con lo observado en las pinturas anteriores de Huejotzingo, salvo que en este caso el color verde corresponde con mayor claridad a resinato de cobre. Por lo anterior es posible que este pigmento haya sido utilizado en las otras pinturas de este ciclo.

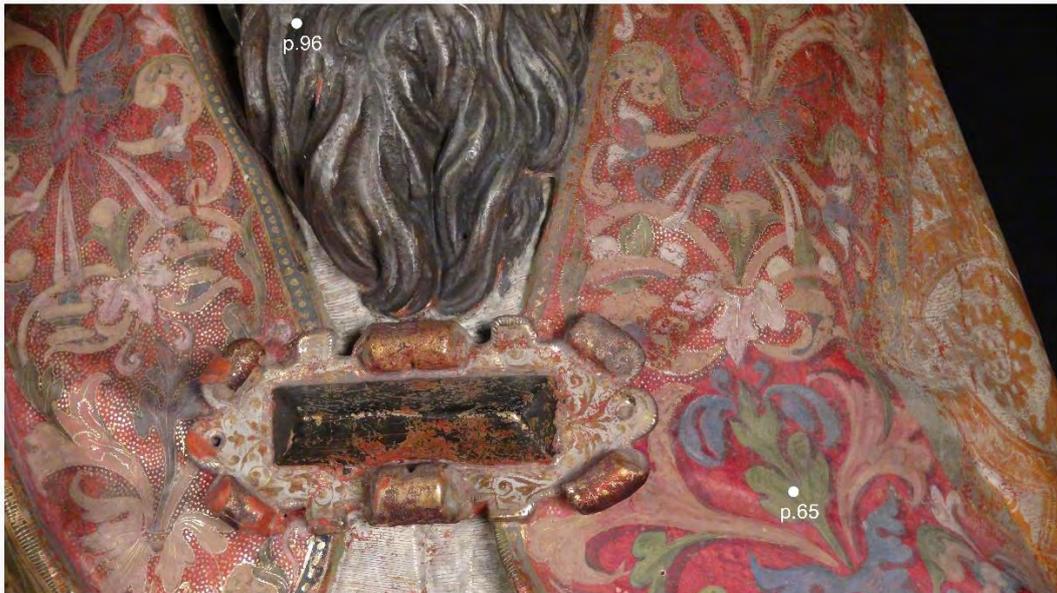
ESCULTURAS

San Gregorio



Figura 44: Detalle de la túnica de San Gregorio, imagen en luz visible y después de aplicar la técnica de falso color. La imagen de falso color presenta el análisis comparativo entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Visible



Falso Color

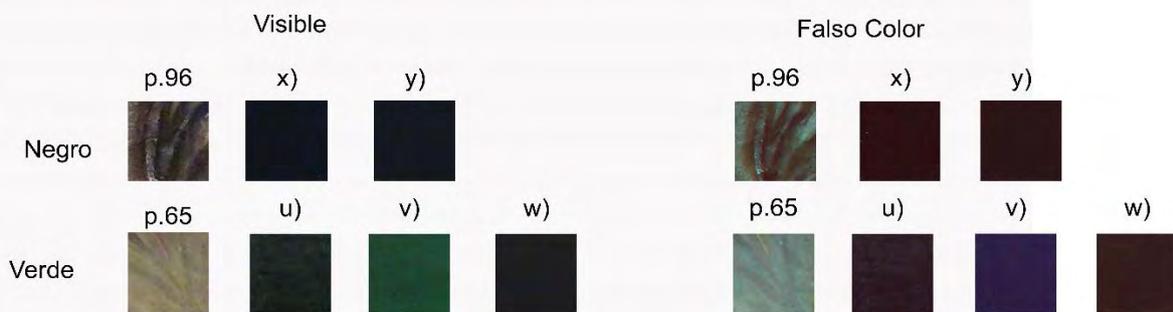
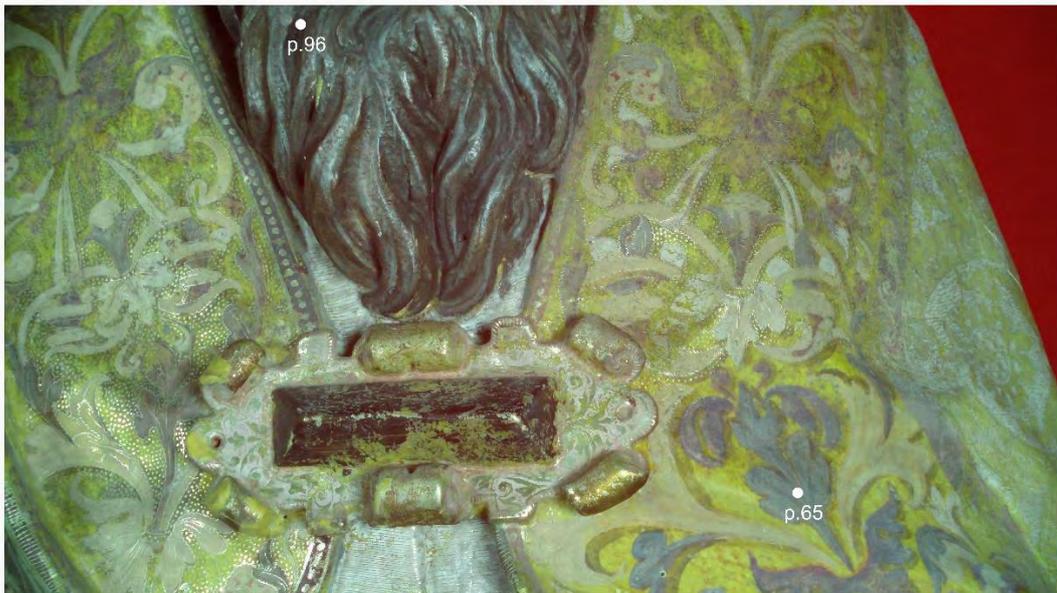


Figura 45: Detalle de la túnica de *San Gregorio*, imagen en luz visible y después de aplicar la técnica de falso color. La imagen de falso color presenta el análisis comparativo entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

El análisis de las imágenes previas de la escultura policroma dio los resultados que se presentan en la tabla 8:

Tabla 8: Identificación de pigmentos utilizando la técnica de falso color, *San Gregorio*. (34) (93) (101)

Punto de Análisis	Color en el Visible	Color después del Procedimiento de FC	Posible Pigmento Asociado
p.21	Amarillo	Blanco Pálido	Amarillo de plomo-estaño
p.119	Azul	Violeta	Esmalte
p.13	Café	Café-Amarillo	Tierras, Siena natural
p.76	Negro	Negro	-----
p.15	Rojo	Amarillo	Bermellón
p.114	Verde	Verde	-----

San Agustín



Figura 46: *San Agustín*, imágenes de detalles de la escultura de San Agustín en luz visible y después de aplicar la técnica de falso color. La imagen de falso color se presenta el análisis comparativo entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

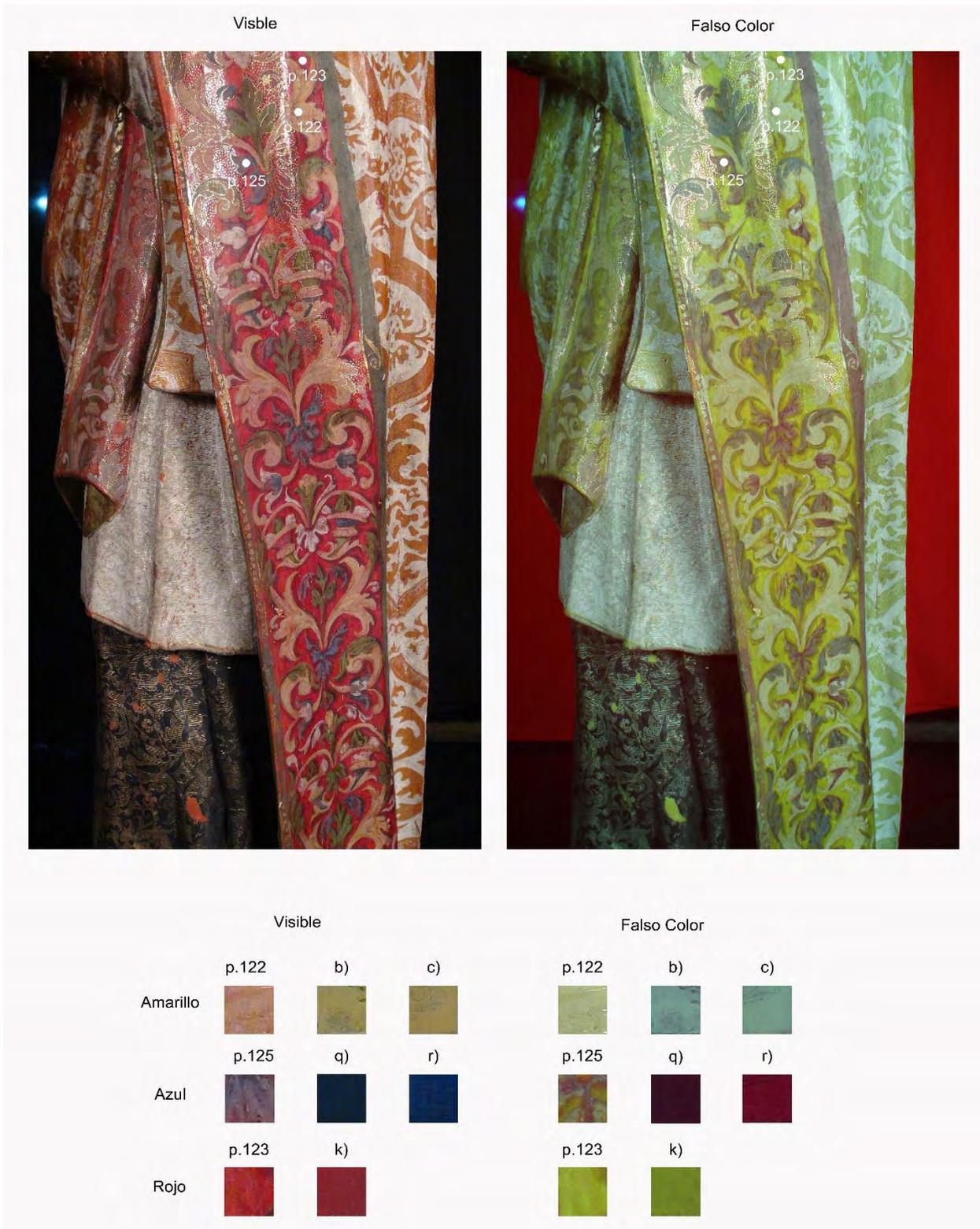


Figura 47: *San Agustín*, imágenes de detalles de la escultura de San Agustín en luz visible y después de aplicar la técnica de falso color. La imagen de Falso Color se presenta el análisis comparativo entre los pigmentos de la obra y los de referencia. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 9: Identificación de pigmentos utilizando la técnica de falso color, *San Agustín* (34) (85) (101).

Punto de Análisis	Color en el Visible	Color después del Procedimiento de FC	Posible Pigmento Asociado
p.122	Amarillo	Blanco Pálido	Amarillo de plomo-estaño
p.125	Azul	Violeta	Esmalte, Azurita
p.96	Negro	Negro	-----
p.78	Rojo	Amarillo	Bermellón
p.124	Verde	Azul	-----

La comparación de los resultados obtenidos de estas esculturas con la imagen infrarroja de falso color muestra que los pigmentos usados en ellas corresponden (bermellón, amarillo de plomo-estaño). La identificación del verde, no es clara, igual que en el caso de las pinturas. En los colores azules domina un color violeta – también más evidente en *San Agustín* – que es más similar al esmalte que a la azurita aunque es posible el uso de diversas capas superpuestas de azules para dar el tono requerido.

TÉCNICAS DE ESPECTROSCOPIA ATÓMICA

FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

Cuando los átomos de cualquier compuesto químico son irradiados por un haz de rayos-X o rayos Gamma de baja energía, estos átomos emiten energía en forma de fluorescencia de rayos-X. Esta energía es característica de cada elemento. Los equipos SANDRA al momento de hacer el análisis arrojan una gráfica de picos que se denomina “Espectros de Fluorescencia de Rayos-X”. Estos espectros se presentan en un plano cartesiano donde el eje de las abscisas corresponde a la energía en keV de los distintos elementos presentes en la muestra y el eje de las ordenadas representa la intensidad relativa o intensidad de la radiación que emite cada uno de los componentes de la muestra. La intensidad de cada línea de fluorescencias en los espectros de Rayos-X varía de acuerdo a la cantidad de elemento presente en la muestra a estudiar (31). La intensidad de esta radiación se define como la cantidad de fotones de cierta energía registrados por el detector por unidad de tiempo (s) y de área (cm²) (97). Los equipos portables de Fluorescencia de Rayos-X ofrecen muchas ventajas, su naturaleza no destructiva nos permite hacer un gran número de mediciones así como permitir el estudio de aquellas áreas en las que no se permite o no se pueden tomar muestras. A continuación presentaremos algunos ejemplos de los espectros obtenidos.

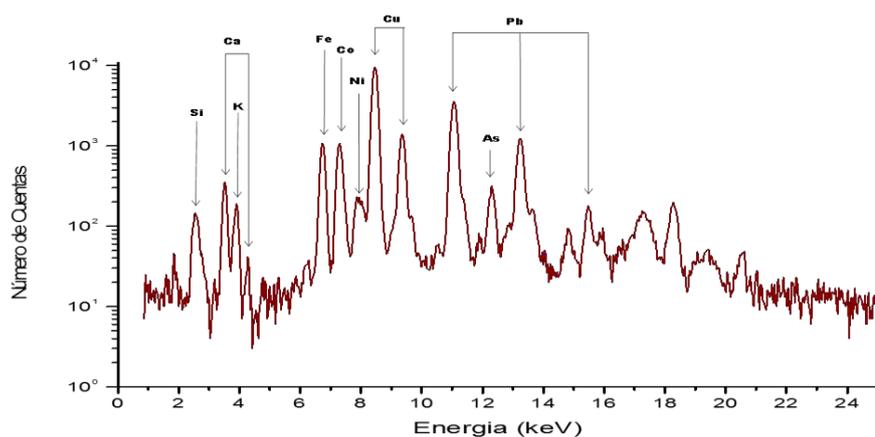


Figura 48: Espectro de XRF obtenido para el punto de análisis color azul en *La Circuncisión*.

El punto mostrado en la figura 51 pertenece a una coloración color azul correspondiente al punto de análisis 69 localizado en la capa del personaje que sostiene la vela en el costado izquierdo de la pintura. En este espectro de XRF podemos observar los picos pertenecientes a los elementos, Si, K, Ca, Fe, Co, Ni, As, y Pb.

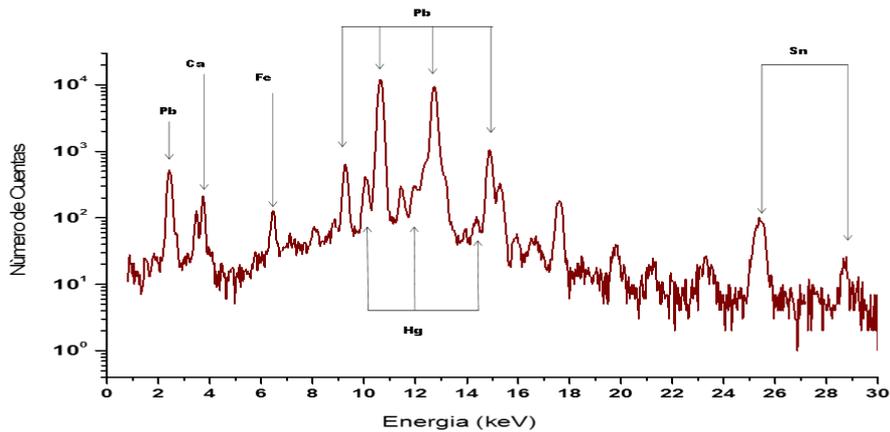


Figura 49: Espectro de XRF obtenido para el punto de análisis color amarillo en *La Circuncisión*.

La figura 52 pertenece a una coloración amarilla correspondiente al punto de análisis 117 localizado en la aureola del niño Jesús. En este espectro podemos ver los picos correspondientes al Ca, Fe, Hg, Pb y Sn.

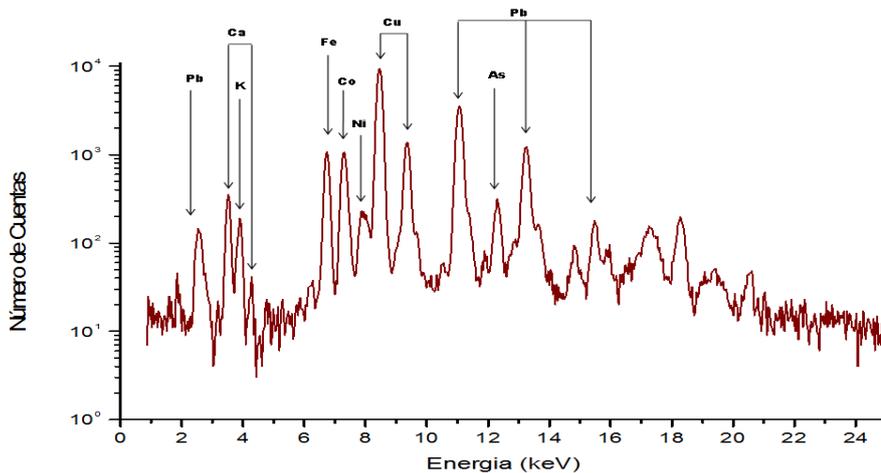


Figura 50: Espectro de XRF obtenido para el punto de análisis color verde en *La Resurrección*.

La figura 52 pertenece a una coloración verde correspondiente al punto de análisis 16 el cual se encuentra en la armadura a la altura del hombro del soldado arrodillado del lado izquierdo de la pintura. En este espectro podemos ver los picos correspondientes al Pb, Ca, Fe, y Sn.

Para hacer una identificación de los pigmentos presentes en las obras estudiadas es necesario hacer uso no sólo de la información química que se obtiene de los espectros de XRF, esta información necesita ser combinada con el color aparente y el conocimiento general sobre los pigmentos que se utilizaron es dicha época (98). Para reconocer la presencia de un pigmento en una obra, lo que se hace es tomar el elemento con mayor presencia en la muestra analizada (54) (99). Usualmente un pigmento es identificado por los elementos más pesados que lo componen y son estos elementos los que suelen tener la mayor concentración (100). Después se compara esta información con las distintas bases de datos donde dichos pigmentos han sido reportados.

En este caso, para la identificación de los pigmentos con lo que las obras estudiadas fueron elaboradas se consultó bibliografía especializada, la cual contenía estudios sobre materiales de referencia que se preparan en el laboratorio siguiendo las recetas originales, de los cuales se conoce su composición,

estudios realizados en pinturas pertenecientes a la misma época histórica. El objetivo fue determinar el tipo de pigmento utilizado o dado el caso, la mezcla de pigmentos, así como la consulta de material bibliográfico donde se indica cuáles eran los pigmentos utilizados en esta época tanto es Europa como en la Nueva España. Las referencias también nos ayudan a determinar las condiciones de estudio necesarias para la identificación de los materiales a través de la identificación de elementos específicos (89).

Podemos notar que los espectros mostrados anteriormente, no solo presentan los picos de emisión asociados a los elementos característicos de los pigmentos que dan las coloraciones que se observan en la pintura, sino que también se observan los picos de elementos como el Fe, Ca y Hg. En el caso del amarillo, podemos ver que en este espectro se encuentran los picos de emisión correspondientes a elementos como el Pb y el Sn, lo cuales se asocian al pigmento amarillo de plomo-estaño. Al momento en que se obtiene un espectro de fluorescencia de rayos X no solo se obtienen los picos asociados a la presencia del pigmento que se observa, también se observan picos pertenecientes a los elementos característicos de pigmentos con los que el pigmento principal fue mezclado o de los materiales que se encuentran en las capas subyacentes (97) (100). Esto ocurre debido a que el haz de rayos X es capaz de penetrar la capa superficial de una pintura hasta llegar a capas por debajo de la capa que se observa, las cuales pueden contener otros pigmentos que no se observan. Lamentablemente el análisis de XRF no nos permite conocer si los elementos no asociados directamente con el pigmento que creemos observar se encuentran en esta capa o en las capas debajo de ella (97) (100).

La altura o intensidad de los diferentes picos de emisión presentes en la muestra se deben a la concentración de dicho elemento, como a su ubicación dentro de una muestra (97), a la probabilidad de que una muestra sea ionizada por la radiación incidente, la probabilidad de que la vacante generada por dicha radiación sea llenada por un electrón que descienda de una capa superior, la probabilidad de que el fotoelectrón generado sea capaz de salir del átomo sin ser absorbido por dicho átomo y el rendimiento de fluorescencia, el cual es uno de los principales factores para determinar la intensidad de los rayos X. Los valores de rendimiento de fluorescencia aumentan con el número atómico y también difieren significativamente de una capa de electrones a otra (101). La intensidad detectada para diferentes líneas de emisión en un espectro de XRF en comparación con el ruido de fondo, nos puede permitir discernir si una señal es parte del ruido espectral o si ésta es significativa para nuestro análisis. Esto puede calcularse gracias al Límite Inferior de Detección (LLD), este se define como la baja intensidad máxima neta de un componente de la muestra analizada, expresada por unidad de concentración que puede ser detectada por un instrumento con un 95% de confianza. El valor de LLD se define gracias a la medición de la intensidad del ruido de fondo, este valor cambia en cada experimento (102).

Para llevar a cabo la identificación de los pigmentos con los que las obras analizadas fueron realizadas, tenemos que tomar en cuenta lo mencionado anteriormente, así como el hecho de que estas pinturas presentan una estructura de capas. Las pinturas de la época novohispana estaban generalmente compuestas por varias capas, el soporte, la capa de sellado del soporte, la base de preparación, el sellado de la base de preparación, la imprimación, la capa pictórica (la pintura) y el barniz (97). Debido a esta estructura de capas nos lleva a tomar en cuenta no sólo los elementos que se encuentran en capas subyacentes, sino también el hecho de que dependiendo del elemento de mayor concentración en la capa sobre la que incide el haz de rayos-X será la intensidad de los picos de emisión de los elementos presentes.

Para realizar la identificación de los pigmentos de una manera adecuada, también es necesario saber cómo interactúa el haz de rayos X con los diferentes tipos de capas sobre las cuales podría incidir. Como sabemos, la radiación electromagnética es atenuada cuando pasa a través de un material, es decir, dicho material absorbe la radiación. Esto quiere decir que necesitamos saber si el haz con el que se ha irradiado la muestra puede o no penetrar dichas capas y llegar a capas subyacentes así como también saber si las reflexiones secundarias del haz pueden volver a travesar la capa inicial para ser registradas por el

detector. La capacidad del haz de rayos X de penetrar una capa y salir para ser registrado por el detector nos puede brindar información sobre los pigmentos o materiales que se encuentran debajo de la primera capa pictórica sin necesidad de tomar una muestra (97).

Un buen ejemplo de lo anterior es hacer notar lo que pasaría si un haz de rayos X incidiera sobre la capa de bermellón (HgS) de 50 μ m. Dicho estrato absorbería prácticamente toda la radiación, por lo que el detector sólo registraría la radiación proveniente la primera capa y no de capas subyacentes ya que la baja energía que les llega no es suficiente para generar las señales de fluorescencia características (97).

Tras el proceso de fotoionización que producen los rayos X característicos de un material, la materia también genera fotones de rayos X como parte del proceso de des-excitación, estos son mejor conocidos como rayos secundarios. Estos fotones de fluorescencia pueden ser absorbidos por otros materiales que se encuentren en la misma muestra si la energía de ellos es suficiente para causar fotoionización y las correspondientes transiciones electrónicas. Como dichas transiciones también generan fotones de rayos X y estos a su vez también se atenúan por los compuestos de la misma muestra, a estos fenómenos se les conoce como excitación secundaria y auto atenuación. Dado que un elemento puede generar rayos-X de diferente energía, y pueden ser absorbidos de forma diferencial por los átomos de compuestos que se encuentran en la vecindad de los átomos que las generan, esto causaría una variación en la intensidad en las líneas de emisión de fluorescencia que son registradas por el detector. (97)

Por otro lado tenemos que en el caso de que un haz no sea totalmente absorbido por la primera capa, puede llegar con suficiente energía a las capas subyacentes, de tal manera que todavía será capaz de producir fotoionización en los átomos que componen los pigmentos o materiales que se encuentran en dichas capas. Los rayos-X producidos por la des-excitación de estos átomos pueden tener diferentes destinos. Por un lado pueden ser absorbidos por los átomos que se encuentran a su alrededor (en la misma capa), pueden viajar hacia la primera capa y provocar que los elementos de estas capas generen rayos-X o también pueden ser suficientemente energéticos como para atravesar las capas que se encuentren encima y ser registrados por el detector (97). Dichos factores también alteran la intensidad de los rayos X de emisión lo cual se ve reflejado en el espectro de XRF que se obtiene.

Para hacer la identificación de los pigmentos con los que estas obras fueron realizadas, debemos tener en cuenta todos los factores mencionados anteriormente. La información sobre a qué capa pictórica pertenecen los elementos que hemos observado puede ser obtenida gracias a que se observa un aumento en la relación que existe entre la intensidad de las señales K_{α} , K_{β} y L_{α} , L_{β} si dichos elementos se encuentran en una capa pictórica inferior (97). Otra forma de saber cuáles son los materiales que componen las diferentes capas pictóricas es haciendo un cambio en la geometría de irradiación – detección ya que al hacer estos cambios podemos observar que los elementos presentes en la capa superficial presentan una mayor intensidad que aquellos que se encuentran en capas subyacentes (97). Sin embargo, para motivos de esta investigación dicho análisis no será presentado. Por lo que se realizará una identificación de los posibles pigmentos presentes en las obras mas no se especificará si estos están mezclados en la capa pictórica superior o si se encuentran en capas pictóricas inferiores.

Para mostrar el resultado obtenido de una forma fácil y sintetizada se mostrarán una serie de tablas correspondientes a cada una de las pinturas donde se enuncian los puntos de análisis agrupados por colores, los elementos encontrados para dichos grupos, así como los pigmentos asociados a estos. Las mediciones hechas para cada obra se clasificaron de acuerdo a la paleta de colores que se observa en ellas. En los apéndices se incluirán tablas donde se muestran los puntos correspondientes a cada color así como con una pequeña descripción del punto estudiado para hacer más fácil la localización del mismo.

Utilizando nuevamente el esquema de presentación de resultados que expusimos en la parte de técnicas de Imagen, tenemos como resultados generales del procesamiento de datos las siguientes tablas:

Susana y los Viejos

Se analizaron un total de 80 puntos sobre toda la pintura tratando de cubrir la mayor cantidad de colores y tonos. En la siguiente tabla se presentan los puntos de análisis de acuerdo la paleta de colores observada durante el proceso de análisis y se presentan los elementos que componen los espectros de XRF de estos colores de mayor a menor intensidad.

Tabla 10: Resultados obtenidos del análisis de XRF de *Susana y los Viejos* (57) (99)

Color	Total de puntos analizados	Elementos del espectro	Algunos posibles pigmentos asociados
Amarillo	4	Pb, As, Ca, Zn, Fe, Sr, Cu, K, Sn, Mn, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Oropimente ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Ocre ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Azul	7	Pb, As, Co, Bi ³ , Ni, K, Fe, Ca, Cu, Sr, Cl, Si	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Esmalte ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Blanco de plomo
Blanco	3	Pb, As, Ca, Sn, Fe, Sr, Cu, K, Cl, Hg, Ni, Co	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Blanco de plomo ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Oropimente ❖ Bermellón ❖ Esmalte
Café	11	Pb, Fe, Hg, Ca, Zn, Cu, Sr, Co, Mn, Cl, K, As, Ni, Bi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón ❖ Esmalte
Encarnación	10	Pb, Fe, Hg, Sr, K Ca, Cu, Mn, Cl, Sn, Zn	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Blanco de plomo
Gris	5	Pb, Fe, Ca, Cu, Sr, Mn, K, Zn, Hg, Ni, Co, Cl	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo
Negro	11	Pb, Ca, Fe, As, Zn, Co, Bi, K, Ni, Sr, Cu, Cl, Hg, Mn	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Esmalte ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Blanco de plomo
Rojo	11	Pb, Hg, Fe, Ca, Sr, Zn, Cu, Cl, Mn, K, Co	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Hematita ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo

³ Aunque los pigmentos azules más usados en la pintura flamenca en el siglo XVI eran el azul ultramar y la azurita, el esmalte fue ganando importancia por su accesibilidad. En algunas pinturas flamencas del siglo XVI se ha encontrado presencia de esmalte, el cual ha sido identificando por picos de Co, Ni, As y Bi, elementos asociados a depósitos de minerales de las materias primas, presentes en espectros de XRF (111)

Verde	12	Cu, Pb, Fe, Ca, Zn, Sr, Co, Ti, Sn, K, Mn ,Cl, Ni, As, Hg	❖ Verde de cobre y/o Azurita ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Esmalte ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Violeta	5	Pb, Cu, Co, As, Ca, Fe, Sr, K, Ni, Zn, Cl, Ti	❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Azurita ❖ Lacas rojas

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos decir que los pigmentos que se utilizaron para la realización de esta pintura fueron:

- Oropimente
- Amarillo de plomo-estaño
- Ocres
- Esmalte
- Tierras
- Blanco de plomo
- Bermellón
- Hematita

Muy probablemente también exista la presencia de azurita y laca roja. La identidad del verde de cobre o un verde a partir de azurita no es fácil de determinar con XRF; pero combinando la información de imagen infrarroja de falso color es más factible el uso de un pigmento azul, azurita y/o esmalte, y un amarillo para obtener el color verde. En este caso no es posible identificar la presencia de carbón utilizando XRF.

El análisis más detallado de los resultados se realiza por medio del programa AXIL. Este programa calcula el área bajo la curva del espectro de Rayos.-X del punto de análisis seleccionado. Después para obtener una representación visual de los elementos que componen los distintos pigmentos en las zonas de análisis, se realizó una gráfica de barras para los puntos de un mismo color. Como ejemplo se muestra la gráfica de barras correspondiente a las coloraciones azules de *Susana y los Viejos*.

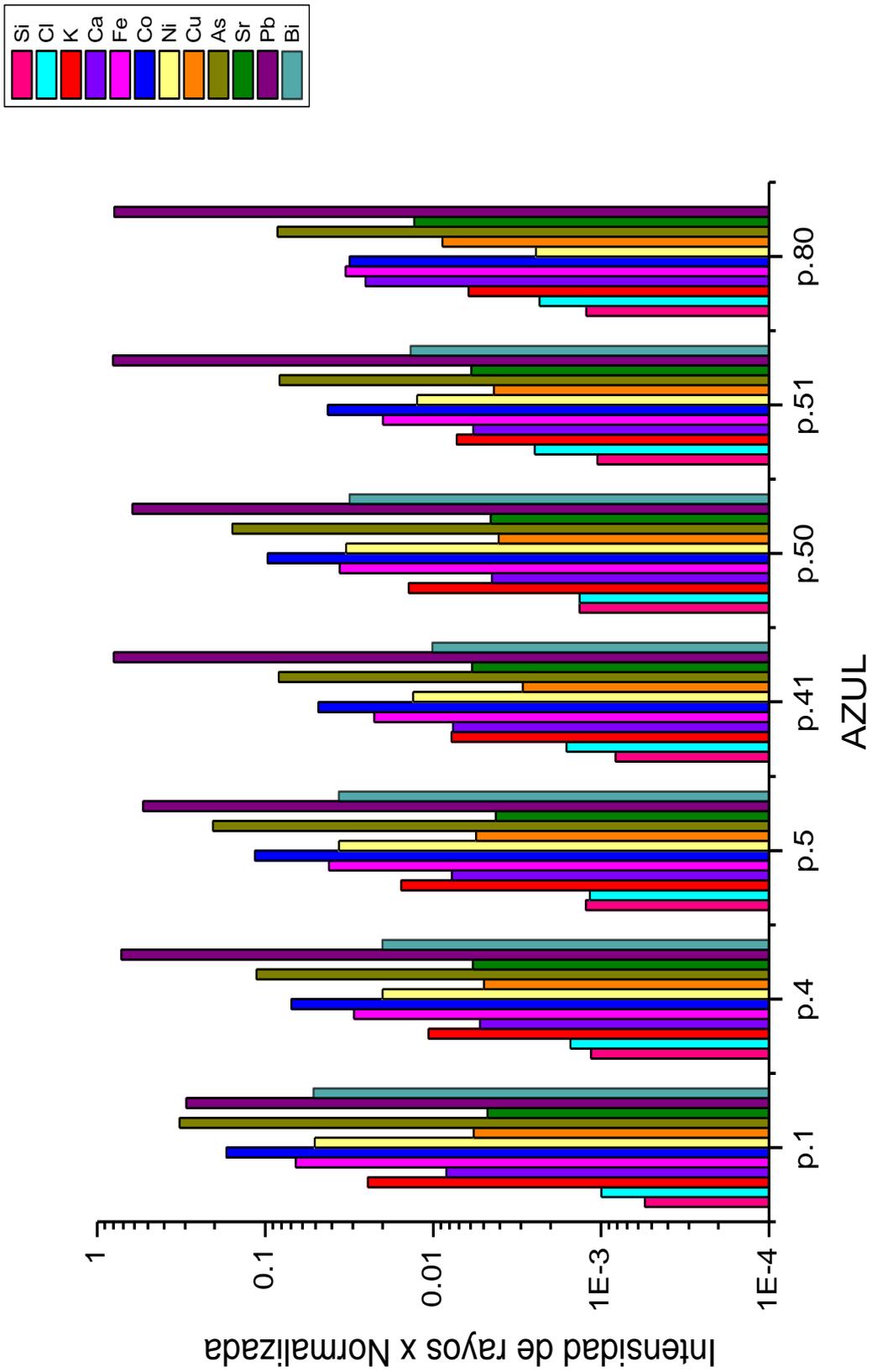


Figura 51: Gráfica de los elementos encontrados en las coloraciones azules para *Susana y los Viejos*.

La imagen precedente corresponde a las coloraciones azules de esmalte. Vemos en la gráfica de barras que todos los puntos de análisis presentan barras que corresponden a la presencia de los elementos asociados al pigmento (Co, As, Ni, K y Bi). A su vez podemos ver que las barras asociadas a cada uno de ellos presentan una altura similar en cada uno de los puntos de análisis, a excepción del último punto donde no fue identificada la presencia de bismuto, lo cual puede deberse a que sus señales no eran lo suficientemente intensas como para distinguirse del fondo o que la señal de otro elemento como plomo se superpone a la misma.

María Magdalena

Se analizaron un total de 85 puntos sobre toda la pintura tratando de cubrir la mayor cantidad de colores y tonos. En la siguiente tabla se presentan los puntos de análisis de acuerdo la paleta de colores observada durante el proceso de análisis y se presentan los elementos que componen los espectros de XRF de estos colores de mayor a menor intensidad.

Tabla 11: Resultados obtenidos del análisis de XRF de *María Magdalena* (57) (99).

Color	Total de puntos analizados	Elementos del espectro	Algunos posibles pigmentos asociados
Amarillo	1	Pb, Fe, Ca, Cu, K, Co, Si, Cl, Mn, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Bermellón ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo
Blanco	2	Pb, Ca, Fe, Cu, K, Co, Mn, Hg, Cl, Si	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Blanco de plomo ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón ❖ Esmalte
Café	23	Pb, Fe, Co, Cu, Ca, Mn, Cl, K, Ni, Zn, Si, Ti, As, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Esmalte ❖ Bermellón
Encarnación	9	Pb, Hg, Fe, Ca, Cu, Mn, Cl, K, Si, Ti, Zn	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Blanco de plomo
Gris	2	Pb, Fe, Ca, Co, Cu, Mn, K, Si, As, Cl, Ti, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Esmalte ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Negro	11	Pb, Fe, Ca, Co, Cu, Mn, K, Si, As, Ni, Cl, Ti, Zn, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Esmalte ❖ Bermellón
Rojo	11	Pb, Hg, Fe, Ca, Cu, Cl, Mn, K, Si	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Hematita ❖ Blanco de plomo
Verde	12	Pb, As, Co, Fe, Mn, K, Ca, Cu, Hg, Ti, Si, Cl, Ni	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Esmalte ❖ Ocre ❖ Tierras

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos decir que la paleta principal de colores que se utilizó para la realización de esta pintura fueron:

- Ocre
- Esmalte
- Blanco de plomo
- Tierras
- Bermellón
- Hematita

La presencia constante de cobre se puede deber a un componente en el barniz o en la base de preparación. La identificación del esmalte es clara a partir de esta técnica. El cambio en la coloración confirma una degradación del pigmento ya observada a partir de la imagen infrarroja de falso color.

Análogamente a *Susana y los Viejos*, se utilizaron los resultados obtenidos por medio del programa AXIL para obtener una representación visual de los elementos que componen los distintos pigmentos presentes en las zonas de análisis, se realizó una gráfica de barras para los puntos de un mismo color. Como ejemplo de esto se muestra a continuación la gráfica de barras (Figura 54) correspondiente a 4 coloraciones verdes de la pintura de *María Magdalena*.

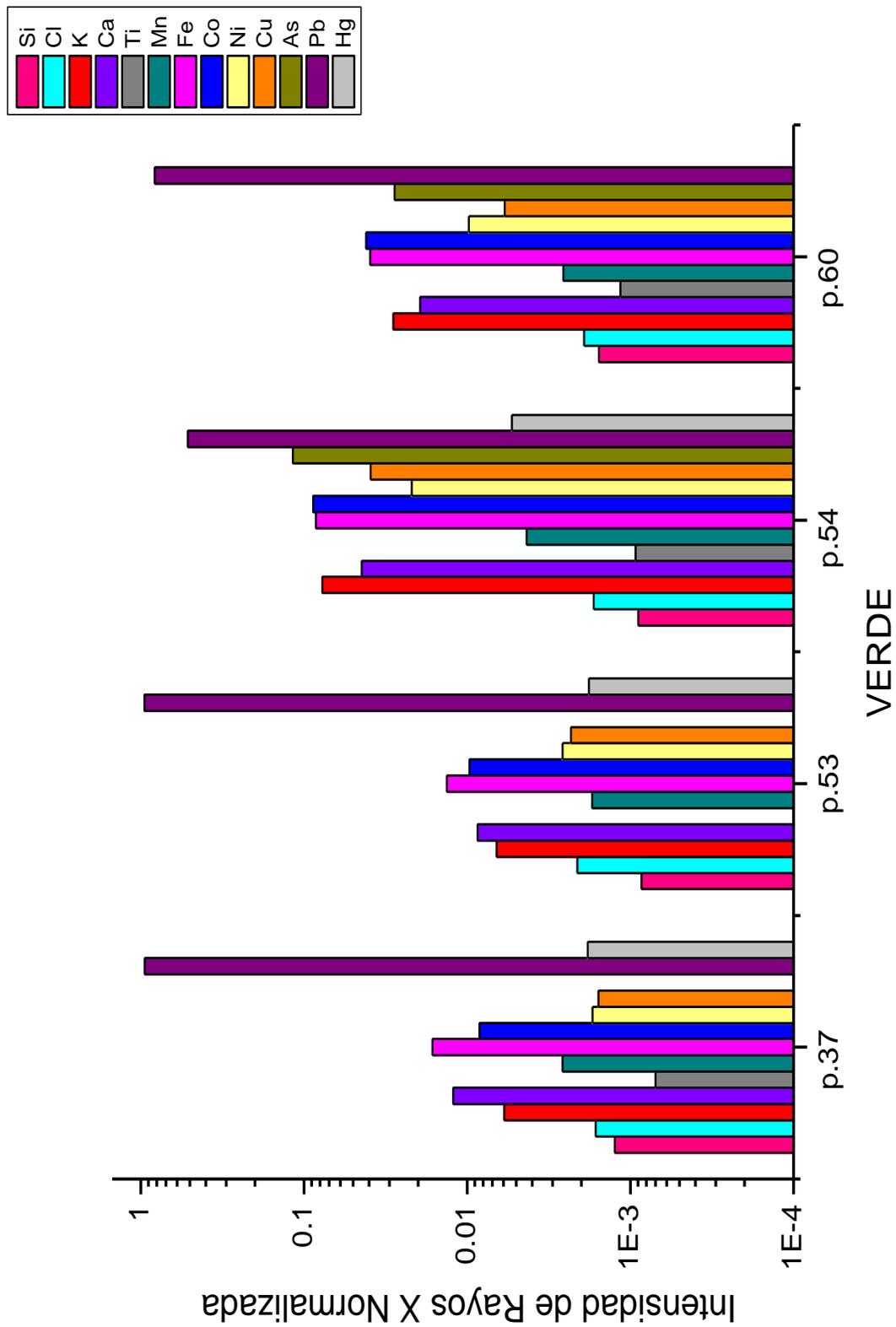


Figura 52: Gráfica de los elementos encontrados en algunas de las coloraciones verdes analizadas para *María Magdalena*.

En esta gráfica de barras podemos observar los elementos asociados al esmalte (Co, Ni, As y K) y una presencia considerable de Fe lo cual puede significar que se utilizó una combinación de ocre amarillo y esmalte para realizar el pigmento verde.

En la tabla 11, podemos observar que los puntos de coloraciones amarillas, los cuales están localizados en el manto de la virgen, muestran presencia de cobalto, elemento asociado al esmalte. Esto puede ser indicativo de que el manto era originalmente de un color distinto al que se observa actualmente, debido a la degradación del pigmento. Lo que nos podría indicar que este pudo haber tenido una coloración azul o una derivada de la combinación de esmalte con otros pigmentos. En estudios previos se ha identificado que Simón Pereyng solía utilizar esmalte para realizar sus composiciones (103). La apariencia de las zonas con esmalte se torna más pardas o grisáceas debido al envejecimiento y a los procesos de degradación que sufre la superficie de los fragmentos de vidrio del pigmento por la oxidación al estar en contacto con el aglutinante y la consecuente pérdida de potasio (104).

Se ha encontrado que los vidrios ricos en potasio son más inestables que los vidrios de sodio de una composición similar y que la durabilidad de estos está altamente relacionado con el contenido de componentes alcalinos lo cual los hace más propensos al deterioro. En el caso del esmalte su principal componente alcalino es el potasio (105) (106). Estudios recientes utilizando técnicas de mapeo elemental y molecular han demostrado que la pérdida del potasio contenido en las partículas del esmalte está directamente asociado con el deterioro de éste. Análisis realizados por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier han mostrado que el potasio lixiviado reacciona con los ácidos grasos del aglutinante para formar sales las cuales pueden migrar a la superficie de la pintura y experimentar reacciones adicionales al interactuar con contaminantes ambientales (103) (104) (105).

Algunos estudios hechos en pinturas virreinales en México utilizando Microscopia Electrónica de Barrido (SEM-EDS) y Microscopia Óptica (OM) de sección transversal, han mostrado que las partículas de esmalte degradado presentan una descoloración en su superficie (partículas grisáceas) como resultado del proceso de degradación (Figura 55) y demuestran que el esmalte puede sufrir el mismo proceso de degradación aún si es combinado con blanco de plomo (103). Sin embargo, otros estudios han revelado que el blanco de plomo también puede contribuir a proteger el esmalte de la decoloración inhibiendo la lixiviación, ya que el plomo reacciona con el aglutinante de aceite. Otra posibilidad es que las capas de pintura superiores son menos ricas en aglutinante y por lo tanto se presenta una menor degradación (105). Otros experimentos realizados también sugieren que el cambio en el color del esmalte se debe al bajo índice de refracción de este pigmento con respecto al medio aceitoso en el que se encuentra, y a la interacción del cobalto del esmalte con medios aceitosos u oleo-resinosos. También existe la posibilidad de que se presenten reacciones similares con las resinas y aceites que se suelen utilizar como barnices (106).

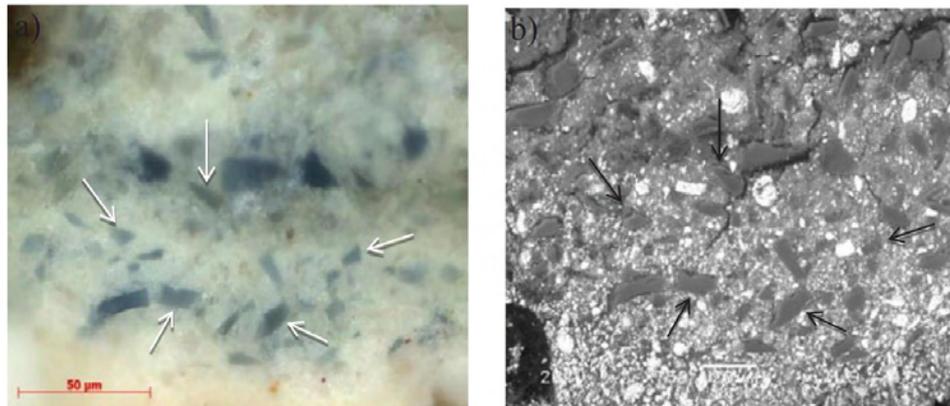


Figura 53: a) imagen tomada del análisis hecho con Micrografía Óptica de luz polarizada al manto de la virgen de la pintura *La Virgen del Perdón* de Simón Pereyns, donde pueden observarse partículas de esmalte grisáceas como resultado de la degradación (flechas blancas). b) micrografía SEM de retrodispersión que pertenece a la misma zona (103).

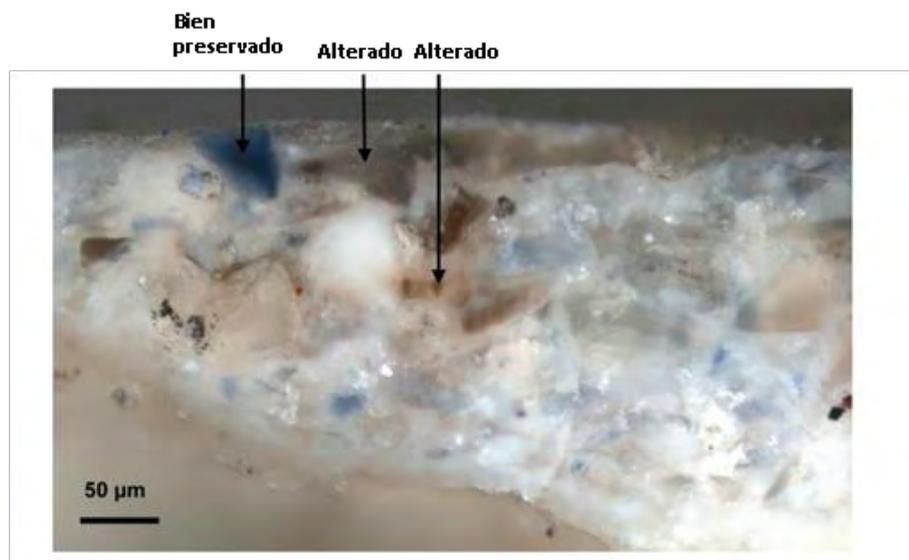


Figura 54: Imagen del análisis hecho por medio de microscopia óptica a una sección trasversal de la pintura *Los Dioses del Olimpo*, Paul Véronèse. Modificada de (104).

La Adoración de Los Pastores

Se analizaron un total de 145 puntos sobre toda la pintura tratando de cubrir la mayor cantidad de colores y tonos. En la siguiente tabla se presentan los puntos de análisis de acuerdo la paleta de colores observada durante el proceso de análisis y se presentan los elementos que componen los espectros de XRF de estos colores de mayor a menor intensidad.

Tabla 12: Resultados obtenidos del análisis de XRF de *La Adoración de los Pastores* (57) (99).

Color	Total de puntos analizados	Elementos del espectro	Algunos posibles pigmentos asociados
Amarillo	7	Pb, Fe, Ca, Sr, Cu, Ti, Si, K, Sn, Mn, Hg, Cl	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Azul	18	Cu, Pb, Co, K, As, Ni, Bi, Fe, Ca, Al, Ti, Mn, Si, Cl, Sr, Zn, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Esmalte ❖ Azurita ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón
Blanco	4	Pb, Ca, Fe, Cu, Hg, K, Sr, Mn, P, Cl, Si, Al, Bi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Blanco de plomo ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón
Café	36	Pb, Fe, Cu, Ca, Co, Hg, Mn, Cl, K, Ni, Zn, Si, Ti, As, Al, Bi, P, Sr	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Hematita ❖ Bermellón ❖ Ocre ❖ Esmalte
Encarnación	19	Pb, Hg, Fe, Ca, Cu, Mn, Cl, K, Si, Ti, Sr, Bi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Hematita ❖ Blanco de plomo
Gris	8	Pb, Ca, Fe, Co, Cu, Mn, K, Si, Sr, P, Ni, Cl, Ti, Hg, Bi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Esmalte ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Negro	20	Pb, Fe, Ca, Co, Cu, Mn, K, Si, As, Ni, Cl, Ti, Zn, Sr, Al, Hg, Bi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Rojo	7	Pb, Hg, Fe, Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, K, Al, Si, Ti	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Hematita ❖ Blanco de plomo
Verde	26	Cu, Pb, Fe, Ca, Zn, Sr, Co, Ti, Sn, K, Mn, Cl, Hg, Ni, Si, Al, Bi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Verde de cobre y/o azurita ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Bermellón

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos decir que la paleta principal de colores que se utilizó para la realización de esta pintura fueron:

- Ocre
- Amarillo de plomo-estaño
- Esmalte
- Blanco de plomo
- Tierras
- Hematita
- Bermellón
- Verde de cobre y/o azurita

La Circuncisión

Se analizaron un total de 260 puntos sobre toda la pintura tratando de cubrir la mayor cantidad de colores y tonos. En la siguiente tabla se presentan los puntos de análisis de acuerdo la paleta de colores observada durante el proceso de análisis y se presentan los elementos que componen los espectros de XRF de estos colores de mayor a menor intensidad.

Tabla 13: Resultados obtenidos del análisis de XRF de La Circuncisión (57) (99).

Color	Total de puntos analizados	Elementos del espectro	Algunos posibles pigmentos asociados
Amarillo	16	Pb, Fe, Ca, As, Sr, Cu, Si, K, Sn, Mn, Hg, Cl, P, Bi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Oropimente ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Azul	23	Cu, Pb, Co, K, As, Ni, Bi, Fe, Ca, Ti, Mn, Si, Cl, Sr, Zn, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Azurita ❖ Esmalte ❖ Bermellón ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Blanco de plomo
Blanco	15	Pb, Ca, Fe, Cu, Hg, K, Sr, Mn, P, Cl, Si, As	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Blanco de plomo ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón
Café	24	Pb, Fe, Cu, Ca, Co, Hg, Mn, Cl, K, Zn, Si, Sn, As, Sr, P	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Bermellón ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo
Dorado	12	Pb, As, Sn, Fe, Ca, Cl, Cu, K, Hg, Sr, Si, Mn, Bi	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Oropimente ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Encarnación	37	Pb, Hg, Fe, Ca, Cu, Mn, Cl, K, Si, Zn, Sr, As, P	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Oropimente ❖ Blanco de plomo
Gris	15	Pb, Ca, Fe, Cu, Mn, K, As, Si, Sr, Cl, Zn, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Bermellón ❖ Oropimente ❖ Blanco de plomo
Negro	35	Pb, Fe, Co, Cu, Ca, Mn, K, Si, As, Ni, Cl, Ti, Zn	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Azurita ❖ Blanco de plomo

Ocre	12	Pb, Ca, Fe, Sn, Hg, As, Sr, Mn, Cu, K, Cl, Si, P, Ti,	❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Oropimente ❖ Bermellón
Rojo	35	Pb, Fe, Hg, Ca, Sr, Cu, K, Mn, K, As, Cl, Si, Ti, Zn, Sn	❖ Tierras ❖ Bermellón ❖ Hematita ❖ Ocre ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Oropimente ❖ Blanco de plomo
Verde	27	Cu, Pb, Fe, Sn, Co, Ca, Zn, Sr, K, Mn ,Cl, Hg, Ni, Si, Al, Bi	❖ Verde de cobre y/o Azurita ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Ocre ❖ Hematita ❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Bermellón

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos decir que la paleta principal de colores que se utilizó para la realización de esta pintura fueron:

- Ocre
- Amarillo de plomo-estaño
- Oropimente
- Esmalte
- Blanco de plomo
- Tierras
- Bermellón
- Hematita
- Verde de cobre y/o azurita

La Resurrección

Se analizaron un total de 238 puntos sobre toda la pintura tratando de cubrir la mayor cantidad de colores y tonos. En la siguiente tabla se presentan los puntos de análisis de acuerdo la paleta de colores observada durante el proceso de análisis y se presentan los elementos que componen los espectros de XRF de estos colores de mayor a menor intensidad.

Tabla 14: Resultados obtenidos del análisis de XRF de La Resurrección (57) (99)

Color	Total de puntos analizados	Elementos del espectro	Algunos posibles pigmentos asociados
Amarillo	20	Pb, Fe, Ca, Sr, Cu, Si, K, Sn, Mn, Hg, Cl, Ni, Co	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Blanco de plomo
Azul	7	Cu, Pb, Co, K, Fe, Ca, Si, Cl, Sr, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Azurita ❖ Esmalte ❖ Bermellón ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Blanco de plomo
Blanco	17	Pb, Ca, Fe, Cu, Hg, K, Sr, Mn, Cl, Si, Co, Ni	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Blanco de plomo ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón ❖ Esmalte
Café	54	Pb, Fe, Cu, Ca, Co, Hg, Mn, Cl, K, Si, Sn, As, Sr, Ni, Bi, Ti	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Bermellón ❖ Esmalte ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Blanco de plomo
Encarnación	29	Pb, Hg, Fe, Ca, Cu, Mn, Cl, K, Si, Sr	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Gris	23	Pb, Ca, Fe, Cu, Co, Mn, K, As, Si, Sr, Cl, Ni, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo
Negro	22	Pb, Fe, Co, Cu, Ca, Mn, K, Si, As, Ni, Cl, Ti, Zn, Bi, Sr, Hg, Al	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Esmalte ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo

Rojo	29	Pb, Fe, Hg, Ca, Sr, Cu, K, Mn, Cl, Si, Ti, Zn	❖ Tierras ❖ Bermellón ❖ Ocre ❖ Hematita ❖ Blanco de plomo
Verde	34	Cu, Pb, Fe, Sn, Co, Ca, Zn, Sr, K, Mn, Cl, Hg, Ni, Si, Al, Bi, As	❖ Resinato de cobre y/o azurita ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Bermellón

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos decir que la paleta principal de colores que se utilizó para la realización de esta pintura fueron:

- Ocre
- Amarillo de plomo-estaño
- Esmalte
- Blanco de plomo
- Tierras
- Bermellón
- Hematita
- Resinato de cobre y/o azurita

San Gregorio

Se analizaron un total de 145 puntos sobre toda la pintura tratando de cubrir la mayor cantidad de colores y tonos. En la siguiente tabla se presentan los puntos de análisis de acuerdo la paleta de colores observada durante el proceso de análisis y se presentan los elementos que componen los espectros de XRF de estos colores de mayor a menor intensidad.

Tabla 15: Resultados obtenidos del análisis de XRF de San Gregorio. Los elementos utilizados para la identificación de los pigmentos se encuentran señalados en negritas (57) (99) (107)

Color	Total de puntos analizados	Elementos del espectro	Algunos Posibles pigmentos asociados
Amarillo	3	Pb, Fe, Ca, Sr, Cu, K, Sn, Mn, Si, Cl, Ti, Ni, Zn, As, Au, Hg	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Amarillo de plomo-estaño ❖ Oropimente ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Azul	12	Pb, Hg, Cu, Fe, Ca, Co, Zn, As, Au, K, Sr, Ti, Si, Mn, Cl, Al	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Azurita ❖ Esmalte ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Blanco de plomo
Blanco	19	Pb, Ca, Fe, Cu, Au, K, Sr, Hg, Cl, Si, Ti, Zn, P, As	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Blanco de plomo ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón
Café	3	Pb, Fe, Co, Cu, Ca, Mn, Cl, K, Au, Zn, Si, Ti, As, Sr, P, Al	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo
Dorado	33	Pb, Fe, Au, Ca, Cu, As, Sr, Ti, K, Si, Mn, Zn, Cr, Al, P, Cl, Co, Ni	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Oro ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Oropimente ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo
Encarnación	7	Pb, Hg, Fe, Ca, Cu, Mn, Cl, K, Si, Au, Co, P	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo
Gris	5	Pb, Fe, Ca, Au, Hg, Cu, Sr, Mn, K, Si, As, Cl, Ti	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Negro	25	Pb, Fe, Ca, Co, Cu, Au, Mn, K, Si, As, Ni, Cl, Ti, Zn, Sr, Hg, P	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Esmalte ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Blanco de plomo

Rojo	28	Pb, Hg, Fe, Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, K, Al, Au, Co, Ti, As, Si, P	❖ Tierras ❖ Bermellón ❖ Hematita ❖ Esmalte ❖ Oropimente
Verde	7	Pb, Cu, Fe, K, Au, Ca, Hg, Ti, Si, Cl, Sr, Al, P, Sn	❖ Verdes de cobre y/o azurita ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Bermellón

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos decir que la paleta principal de colores que se utilizó para la realización de esta pintura fueron:

- Ocre
- Oropimente
- Amarillo de plomo-estaño
- Esmalte
- Blanco de plomo
- Tierras
- Bermellón
- Hematita
- Verde de cobre y/o azurita

San Agustín

Se analizaron un total de 155 puntos sobre toda la pintura tratando de cubrir la mayor cantidad de colores y tonos. En la siguiente tabla se presentan los puntos de análisis de acuerdo la paleta de colores observada durante el proceso de análisis y se presentan los elementos que componen los espectros de XRF de estos colores de mayor a menor intensidad.

Tabla 16: Resultados obtenidos del análisis de XRF de San Agustín. Los elementos utilizados para la identificación de los pigmentos se encuentran señalados en negritas (57) (99) (107)

Color	Total de puntos analizados	Elementos del espectro	Posibles pigmentos asociados
Amarillo	4	Pb, Hg, Fe, As, Au, Ca, Cl, Cu, K	❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Oropimente ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Azul	17	Hg, Cu, Pb, Fe, As, Au, Ca, Zn, K, Co, Si, Si, Cl, Ti	❖ Azurita ❖ Esmalte ❖ Ocre ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo
Blanco	31	Pb, Ca, Au, Fe, Cu, K, Hg, Cl, Si, Ti, As	❖ Blanco de plomo ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Bermellón ❖ Oropimente
Dorado	21	Pb, Fe, Au, Ca, Cu, As, Ti, K, Si, Mn, Cr, P, Cl	❖ Oro ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Oropimente ❖ Blanco de plomo
Encarnación	4	Pb, Hg, Fe, Ca, Cu, Cl, Si, Cr	❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Hematita ❖ Blanco de plomo
Gris	8	Pb, Fe, Ca, Au, Co, Cu, Mn, K, Si, As, Ni, Cl, Ti	❖ Tierras ❖ Esmalte ❖ Blanco de plomo
Negro	15	Pb, Fe, Ca, Cu, Co Mn, K, Si, As, Ni, Cl, Ti	❖ Esmalte ❖ Tierras ❖ Azurita ❖ Blanco de plomo
Morado	1	Pb, Au, Fe, Ca, Cu, Cl, K, Si	❖ Tierras ❖ Ocre ❖ Hematita ❖ Azurita ❖ Blanco de plomo

Rojo	31	Pb, Hg, Fe, Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, K	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bermellón ❖ Tierras ❖ Hematita ❖ Ocre ❖ Blanco de plomo
Verde	18	Pb, As, Fe, Au, Cu, K, Ca, Hg, Ti, Si, Cl, Si, P, Cr, Zn	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Ocre ❖ Tierras ❖ Verde de cobre y/o azurita ❖ Bermellón ❖ Blanco de plomo

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos decir que la paleta principal de colores que se utilizó para la realización de esta pintura fueron:

- ❖ Ocre
- ❖ Tierras
- ❖ Oropimente
- ❖ Blanco de plomo
- ❖ Bermellón
- ❖ Hematita
- ❖ Verde de cobre y/o azurita
- ❖ Blanco de plomo

En la escultura de San Gregorio observamos que para el caso de las coloraciones azules y negras se encontró una mayor presencia de cobre, en comparación con el cobalto y otros elementos asociados a la fabricación del esmalte, esto nos lleva a pensar que en el caso de esta escultura se prefirió el uso de azurita para dichas coloraciones. Al igual que en las pinturas podemos concluir que las coloraciones negras se realizaron con una combinación de varios pigmentos lo cual puede incluir al negro de carbón que no podemos detectar con XRF.

En el caso de los verdes podemos observar una gran presencia de cobre y hierro, lo cual es un indicativo de que las coloraciones verdes pudieron ser realizadas utilizando una combinación de azurita y ocre/tierras o una mezcla de verdes de cobre y ocre/tierras, esto último pudo haber sido para obtener distintos tonos de verde. En las coloraciones rojas se encontró la presencia de arsénico, y señales poco intensas de cobalto y potasio, esto podría indicar que se utilizó una mezcla de ocre/tierras con oropimente para dar tonos rojos-anaranjados y de ocre/tierras y esmalte para dar tonos más oscuros de rojo. Asimismo, en las coloraciones amarillas se encontró presencia de plomo, estaño y arsénico. Esto es un indicativo de que se utilizó amarillo de plomo –estaño y oropimente en la realización de estas coloraciones

Por otra parte, en la escultura de San Agustín se encontró una notable presencia de arsénico en las coloraciones amarillas, rojas y verdes. Esto es un indicativo de que para la realización de esta escultura se prefirió el uso de oropimente en lugar de los ocre y/o tierras como pigmento amarillo. La presencia de arsénico en las coloraciones verdes y rojas nos permite identificar mezclas de pigmentos, en el caso del rojo podría significar la mezcla de ocre/tierras y oropimente para dar un tono rojo-anaranjado y en el caso de los verdes, la alta presencia de cobre nos puede indicar que el oropimente se mezcló con azurita para realizar estas coloraciones o con verdes de cobre para dar el tono de verde deseado. En el caso de los azules y grises podemos observar presencia de cobalto y de los demás elementos asociados

a su fabricación (As, K, Ni). No obstante, la presencia de cobre en los azules es mucho mayor por lo que podemos decir que se prefirió el uso de azurita en vez de esmalte. En el caso de los negros nuevamente observamos que estos fueron realizados mediante una mezcla de pigmentos.

El hecho de que los pigmentos encontrados en las pinturas y esculturas sean similares sugiere que las esculturas fueron policromadas por el mismo artista o taller que realizó las pinturas del retablo.

RESUMEN DE LOS PIGMENTOS OBTENIDOS MEDIANTE XRF

Haciendo una tabla de los pigmentos principales encontrados en cada una de las obras para cada color tenemos que:

Tabla 17: Tabla de los pigmentos principales que fueron identificados para cada obra.

Obras	Susana y los Viejos	María Magdalena	La Adoración de los Pastores	La Circuncisión	La Resurrección	San Gregorio	San Agustín
Colores							
Amarillo	Oropimente, Amarillo de plomo-estaño, Ocre	Ocre, Tierras	Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño	Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente	Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño	Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente	Ocre, Tierras, Oropimente
Azul	Esmalte, Azurita	Esmalte, Azurita	Esmalte, Azurita				
Blanco	Blanco de plomo	Blanco de plomo	Blanco de plomo				
Café	Ocre, Tierras	Ocre, Tierras	Ocre, Tierras				
Negro	Oropimente, Esmalte, Tierras, Ocre, Azurita, Blanco de plomo	Tierras, Ocre, Esmalte, Azurita, Bermellón, Blanco de plomo	Tierras, Esmalte, Azurita, Bermellón, Blanco de plomo	Tierras, Esmalte, Azurita, Oropimente, Blanco de plomo	Blanco de plomo, Tierras, Ocre, Esmalte, Azurita, Resinato de cobre, Bermellón, Blanco de plomo	Esmalte, Tierras, Ocre, Azurita, Blanco de plomo	Esmalte, Tierras, Azurita, Blanco de plomo
Rojo	Tierras rojas, Bermellón, Hematita	Tierras rojas, Bermellón, Hematita	Tierras rojas, Bermellón, Hematita				
Verde	Esmalte, Azurita, Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente	Esmalte, Azurita, Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente	Esmalte, Azurita, Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente	Esmalte, Azurita, Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente	Resinato de cobre, Esmalte, Azurita, Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente	Esmalte, Azurita, Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente	Esmalte, Azurita, Ocre, Tierras, Amarillo de plomo-estaño, Oropimente

COMPARACIÓN DE LOS RESULTADO DE IRFC Y XRF

Haciendo ahora una comparación entre los pigmentos identificados por medio de la técnica de Imagen infrarroja de falso color y los resultados obtenidos mediante el análisis de XFR tenemos la siguiente tabla:

Tabla 18: Comparación entre los resultados obtenidos utilizando la Técnica de falso color y la Fluorescencia de rayos-X.

Susana y los Viejos		
Color	Imagen infrarroja de falso color	Fluorescencia de rayos-X
Amarillo	Ocre	Oropimente, Amarillo de plomo-estaño, Ocre
Azul	Esmalte	Esmalte, Azurita
Blanco	-----	Blanco de plomo
Café	Tierras , Siena natural	Ocre, Tierras
Negro	-----	Combinación de varios pigmentos
Rojo	Bermellón	Ocre, Tierras, Bermellón, Hematita
Verde	A partir de esmalte y amarillo	Verde de cobre y/o azurita, posible combinación de esmalte con pigmentos amarillos
María Magdalena		
Amarillo	Ocre	Ocre
Azul	-----	Esmalte, Azurita
Blanco	-----	Blanco de plomo
Café	Tierras, Siena natural	Ocre, Tierras
Negro	-----	Combinación de varios pigmentos
Rojo	Bermellón, Hematita	Ocre, Tierras, Bermellón, Hematita
Verde	A partir de esmalte y amarillo	Posible combinación de esmalte con pigmentos amarillos
La Adoración de los Pastores		
Amarillo	Ocre	Ocre, Amarillo de plomo-estaño
Azul	Azurita	Esmalte, Azurita
Blanco	-----	Blanco de plomo
Café	Tierras, Siena natural	Ocre, Tierras
Negro	-----	Combinación de varios pigmentos
Rojo	Bermellón, Hematita	Ocre, Tierras, Bermellón, Hematita
Verde	-----	Verde de cobre y/o azurita, posible combinación de esmalte con pigmentos amarillos

La Circunci3n		
Amarillo	Ocre	Ocre, Amarillo de plomo-esta1o, Oropimente
Azul	Azurita	Esmalte, Azurita
Blanco	-----	Blanco de plomo
Caf3	Tierras, Siena natural	Tierras
Negro	-----	Combinaci3n de varios pigmentos
Rojo	Bermell3n, Hematita	Ocre, Tierras, Bermell3n
Verde	A partir de esmalte y amarillo	Verde de cobre y/o azurita, posible combinaci3n de esmalte con pigmentos amarillos
La Resurrecci3n		
Amarillo	Ocre	Ocre, Amarillo de plomo-esta1o
Azul	Azurita	Esmalte, Azurita
Blanco	-----	Blanco de plomo
Caf3	Tierras, Siena natural	Tierras, Ocre
Negro	-----	Combinaci3n de varios pigmentos
Rojo	Bermell3n, Hematita	Ocre, Tierras, Bermell3n, Hematita
Verde	Resinato de cobre	Resinato de cobre y/o azurita, posible combinaci3n de esmalte con pigmentos amarillos
San Gregorio		
Amarillo	Amarillo de plomo- esta1o	Oropimente, Amarillo de plomo-esta1o, Ocre, Tierras
Azul	Azurita	Azurita, Esmalte
Blanco	-----	Blanco de plomo
Caf3	Tierras, Siena Natural	Tierras, Ocre
Negro	-----	Combinaci3n de varios pigmentos
Rojo	Bermell3n	Ocre, Tierras, Bermell3n y Hematita
Verde	-----	Posible combinaci3n de azurita con pigmentos amarillos
San Agust3n		
Amarillo	Amarillo de plomo- esta1o	Oropimente, Ocre, Tierras
Azul	Azurita	Esmalte, Azurita
Blanco	-----	Blanco de plomo
Negro	-----	Combinaci3n de varios pigmentos
Rojo	Bermell3n, Hematita	Ocre, Tierras rojas, Bermell3n, Hematita
Verde	-----	Verde de cobre y/o azurita , posible combinaci3n de esmalte con pigmentos amarillos

Observando ambas tablas, podemos ver que los pigmentos utilizados en la realización de la pintura *de Susana y los Viejos* y aquellos empleados en las pinturas del Retablo Mayor de la Iglesia del ex -convento de San Miguel Arcángel son pigmentos similares, esto no es de extrañar ya que al principios del periodo colonial en México se importaban desde Europa muchos de los materiales utilizados por los artistas para la realización de sus obras. Muchos de los materiales fueron traídos al Nuevo Mundo para ser comerciados en los distintos ámbitos artísticos sin embargo, algunos artistas solían hacer encargos especiales para la realización de obras específicas. En el caso de los pintores, éstos hacían traer desde España todo lo necesario para la realización de sus obras ya que conocían y confiaba en la calidad de los materiales europeos, en el caso de los pigmentos que se importaban desde España, estos solían provenir de las principales ciudades productoras de pigmentos como lo eran Venecia y Amberes (108). En el caso de las piezas pertenecientes al retablo mayor de Huejotzingo se puede decir que estos pigmentos fueron traídos también desde España ya que en varios contratos firmados por Simón Pereyng y Andrés de Concha para la realización de otras obras se especifica que se “usen pigmentos finos de Castilla” (109).

Por otro lado también se observa que las esculturas pertenecientes al retablo contienen el mismo tipo de pigmentos que las pinturas pertenecientes a dicho retablo a excepción de que en las esculturas se observa un mayor uso de oropimente y azurita, esto podría darnos una pista de si fue él artista encargado de realizar las pinturas el mismo que realizo la policromía de las esculturas o si fue otro el que se encargó de dicha tarea. En los textos bibliográficos se reconoce a Pedro de Requena como escultor de las mimas pero no se sabe si fue el quien hizo el trabajo de policromía. Los resultados obtenidos en este estudio podrían ayudar al saber si las esculturas fueron policromadas por Requena o por los artistas pertenecientes al taller encargado de la realización de las pinturas.

ANÁLISIS DEL USO Y COMPOSICIÓN DEL ESMALTE

Como se mencionó anteriormente, uno de los pigmentos de gran importancia para el siglo XVI fue el esmalte, lo que lo convierte en un pigmento relevante por su uso en las obras analizadas.

En esta sección, se pretende hacer un análisis de forma general para saber si las coloraciones azules, verdes y las zonas oscuras contienen una proporción semejante de esmalte (Co) con respecto a la azurita (Cu) y a los pigmentos ocre y tierras (Fe), ya que se encontró que la mayoría de las pinturas contenían combinaciones de estos pigmentos en dichas coloraciones. El pigmento esmalte se podría haber utilizado en combinación con pigmentos amarillos y cafés para dar distintos tonos de verdes y sombras, respectivamente, y por los resultados obtenidos del estudio de XRF se considera que se pudieron combinar los pigmentos azules, cafés y verdes para la elaboración de las coloraciones negras.

De forma más específica se desea saber si el esmalte que se utilizó pertenecía a una misma manufactura, es decir, si el pigmento que se utilizó para cada una de las obras se elaboró bajo el mismo procedimiento y materias primas. Asimismo, para las pinturas de Huejotzingo también se desea conocer si las proporciones de esmalte utilizado con respecto a los pigmentos con los que fue combinado para realizar otros colores fue la misma para todas las obras.

Para poder determinar si se usó la misma proporción entre esmalte y azurita se calculó la razón que existe entre los elementos distintivos propios de cada pigmento, es decir la proporción que existe entre las señales de rayos-X de cobalto (esmalte) y de cobre (azurita). Para determinar si el esmalte fue combinado con pigmentos tierras u ocre, se calculó la relación de intensidades que hay entre el hierro (tierras y ocre) y el cobalto. Por otra parte, para saber si el esmalte fue elaborado mediante el mismo método de fabricación y con las mismas materias primas, se mide la razón que existe entre el cobalto y los elementos níquel (Ni), potasio (K) y arsénico (As).

La composición del esmalte puede tener más de una formulación química (110). Por lo que habría que considerar que las obras pueden haber sido realizadas con uno o varios tipos de esmalte lo cual se vería reflejado al momento de realizar los análisis de XRF de las diversas coloraciones azules, verdes y negras; ya que los elementos asociados a dichas coloraciones podrían ser diferentes. En estudios previos se ha encontrado que en las pinturas europeas del siglo XVI se utilizaba un esmalte que se componía principalmente por cobalto (Co), níquel (Ni), arsénico (As), bismuto (Bi), potasio (K) y silicio (Si) (59) (111) (112). También se sabe que desde la edad media hasta principios del siglo XVIII el principal mineral para la fabricación del esmalte fue la esmaltita, $[(Co, Ni)As_{3-2}]$ (68) (110). En los siglos XVII y XVIII el esmalte era fabricado también utilizando eritrita $[(Co, Ni)_3[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O]$ y cobaltita, (CoAsS), respectivamente.

El arsénico puede encontrarse en concentraciones importantes en el mineral utilizado para la fabricación del esmalte. Estudios previos han reportado una variación entre 1-15% del peso total del óxido de cobalto utilizado para la realización de dichas pinturas. Haciendo una comparación entre la cantidad de cobalto y arsénico también se ha encontrado que las variaciones de arsénico pueden estar relacionadas al mineral de cobalto utilizado, a una mayor concentración de cobalto en el punto de análisis, o al método de fabricación (113).

Debido a que los picos de emisión de rayos-X $K\alpha$ y $K\beta$ del arsénico se superponen a los picos de emisión de rayos-X $L\alpha$ y $L\gamma$ del plomo, respectivamente, la presencia de arsénico se determina calculando los picos $K\alpha$ con ayuda de los picos correspondientes a los rayos-X $K\beta$ del arsénico a partir de la relación de $K\alpha/K\beta$ medida para el arsénico y la relación $L\alpha/L\beta$ medida para el plomo de espectros de referencia. Cuando la concentración de arsénico es notoria, su presencia es fácil de identificar por medio del espectro de XRF, ya que su pico $K\beta$ sobresale con claridad del pico $L\gamma$ del plomo en los espectros de XRF.

Si la presencia de arsénico no puede ser observada directamente en el espectro a partir sus señales de rayos-X, ésta puede ser inferida si la relación $L\alpha/L\beta$ del plomo aumenta en relación al mismo factor calculado para los espectros obtenidos de puntos de análisis donde no hay pigmentos que tengan arsénico asociado.

A partir de los cálculos de razones de rayos-X de los espectros de XRF podemos realizar las gráficas que nos ayudaran a entender el uso del esmalte en las obras analizadas. En las siguientes secciones se presentará primero el análisis hecho para la pintura de *Susana y los Viejos* y después se presentarán las pinturas pertenecientes al retablo mayor de la Iglesia de San Miguel Arcángel en una sola sección, ya que sólo la primera, fue realizada por el pintor Martín de Vos, y las otras fueron pintadas por Simón Pereyng y su taller. Por tales motivos se espera que estas últimas tengan proporciones similares y que dichas proporciones difieran de la primera obra.

Primero se realizó una serie de graficas que nos ayudaran a saber si el esmalte se combinó con azurita y pigmentos ocre y/o tierras para realizar las coloraciones azules, verdes, sombras y negras. Después presentaremos el análisis correspondiente a los elementos asociados a la fabricación del esmalte y así poder determinar si el esmalte utilizado para realizar las obras analizadas fue elaborado mediante el mismo proceso de fabricación y utilizando las mismas materias primas.

ANÁLISIS DEL USO Y COMPOSICIÓN DEL ESMALTE PARA LA PINTURA DE SUSANA Y LOS VIEJOS

En la figura 57 podemos apreciar que los valores de Fe/Co se pueden asociar en dos grupos, el primero (1, 4, 5, 41, 50, 51, 3, 40, 61, 65, 66 y 68) se compone de aquellos puntos cuyos valores son visiblemente más uniformes y oscilan entre 0.30 y 0.60, el segundo (80, 49, 57) se compone de aquellos valores mayores a 1.20. Las coloraciones negras, violetas y azules (a excepción del punto 80) se encuentran contenidas en el primer grupo, el valor pequeño de la razón nos indica una concentración notoriamente mayor de cobalto con respecto al hierro, y una proporción baja de tierras en estos colores. El aumento en esta razón indica por lo tanto una mayor presencia de los pigmentos tierra u ocre, esto nos indica que los pigmentos tierras fueron utilizados para obtener tonos de azul más oscuros y utilizarlos como sombras.

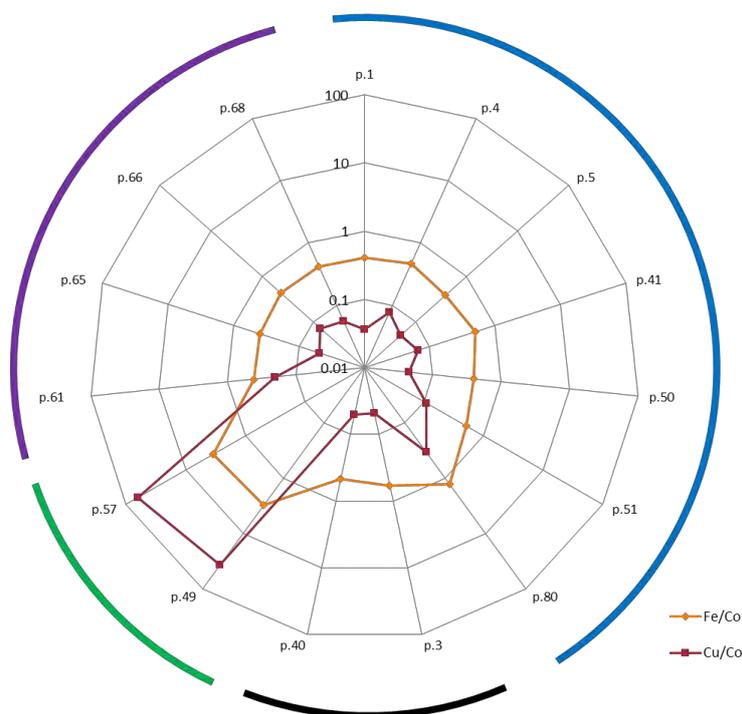


Figura 55: Gráfica de las razones entre el Fe, Cu y el Co para *Susana y los Viejos*.

Como los puntos pertenecientes a las coloraciones violetas (61, 65, 66, 68), se encuentran contenidos también en el primer grupo; esto significa que se utilizó una cantidad muy similar de pigmentos tierras en proporción al esmalte para realizar estas coloraciones.

En el caso de los verdes (49 y 57), contenidos en el segundo grupo, donde el valor de la relación Fe/Co es mucho mayor que en los anteriores casos esto se debe a que se usó pigmentos tierras u ocre para obtener el color verde deseado.

En el caso del factor Cu/Co podemos observar que el valor de las razones es menos uniforme que en el caso anterior. La mayoría de los valores de Cu/Co presentan un valor menor a 0.1 lo que nos indica que el pintor prefirió utilizar para el azul una mezcla de esmalte con muy poca azurita, o bien aplicó una capa de esmalte sobre una de azurita.

También los valores que más sobresalen son puntos correspondientes a coloraciones verdes (p.49 y p.57). La mayor presencia de Cu indica que se prefirió el uso de azurita en combinación con ocre para realizar las coloraciones verdes, y se añadió un poco de esmalte para obtener los tonos de verde. Podemos también observar que esos mismos puntos el valor de Fe/Co también se eleva, lo que refuerza la conclusión anterior.

Por otra parte, la gráfica de la figura 58 muestra la razón que existe entre el cobalto y los elementos asociados a la fabricación del esmalte: níquel (Ni), potasio (K) y arsénico (As) de las coloraciones azules, verdes y negras. Además de la gráfica de radar, se utilizó el programa Statistica para realizar un *análisis de cúmulos (clúster)* y obtener la gráfica que nos permitirá observar con más facilidad si es que existen puntos que formen grupos y así hacer una comparación entre estos de una manera más objetiva.

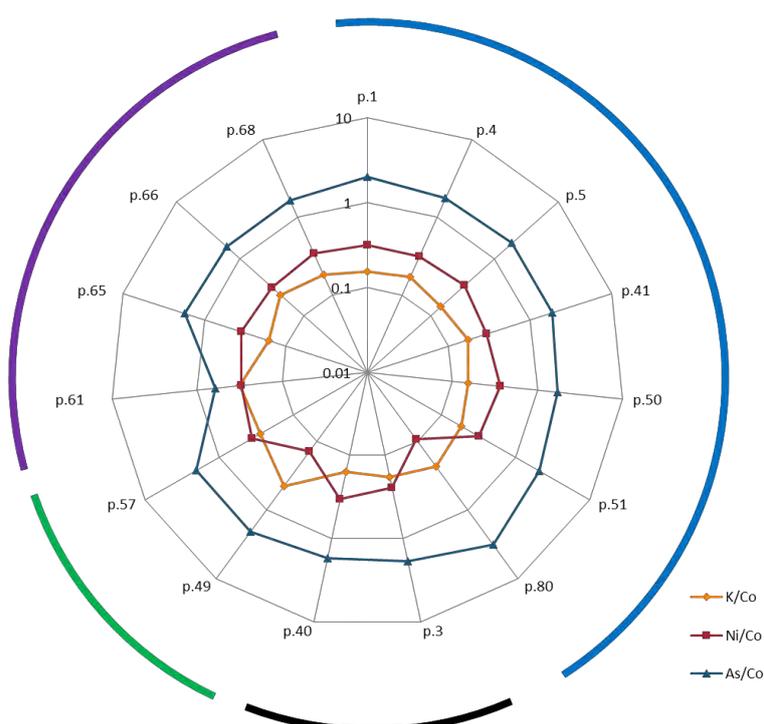


Figura 56: Gráfica de las razones entre el Co y los elementos asociados a la fabricación del esmalte para *Susana y los Viejos*.

En la gráfica obtenida (figura 59) podemos ver que se forma un grupo de notable similitud con prácticamente todos los puntos de análisis, salvo para las mediciones 49, 61 y 80. A partir de la figura 59 podemos ver que la composición del pigmento esmalte es bastante uniforme ya que el comportamiento de las razones calculadas es bastante regular. La presencia regular de arsénico (As) y potasio (K) es un indicativo de que el proceso artístico para la realización de esta pintura se llevó a cabo en una sola etapa y con el mismo pigmento.

Los puntos 80 y 49 presentan disminuciones en la razón Ni/Co, aunque en el punto 49 aumenta la relación K/Co por el uso de una tierra u ocre para producir el color verde muy oscuro, mientras que el punto 61 se distingue por la disminución en la relación As/Co. El punto 80 puede presentar menos Ni en relación al K debido a que es una coloración azul con un halo de tierras (pigmentos color café) que crea la sensación de sombra. El punto 61 es un brillo de una coloración violeta de una túnica, por lo cual podemos atribuir el decremento en la señal de arsénico a la dificultad de medir sus señales por la abundancia de blanco de plomo en esta zona.

Análisis estadístico de composición elemental (XRF) del esmalte en "Susana y los Viejos"
Dendograma para 15 casos. Promedio ponderado por grupo. Distancias euclidianas

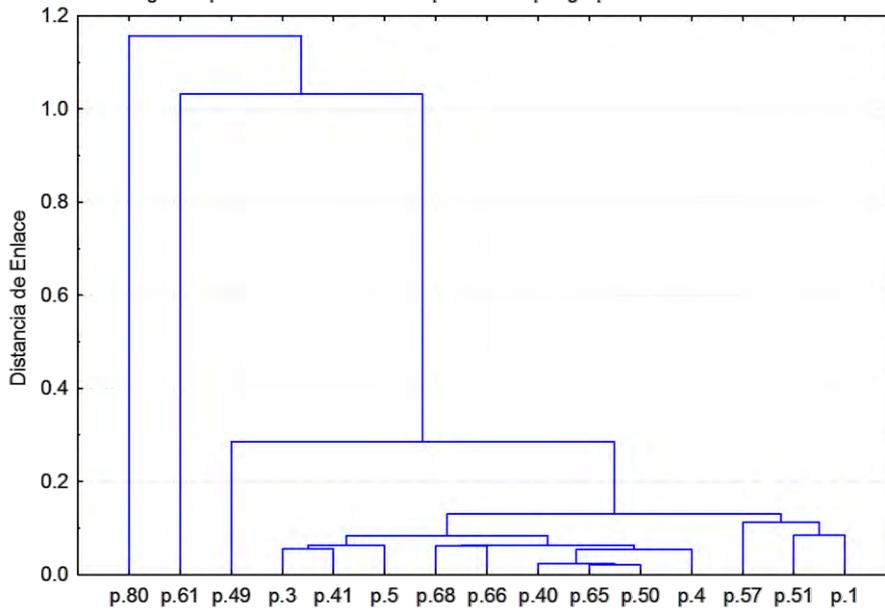


Figura 57: Gráfica del análisis de cúmulos realizada por el programa Statistica

ANÁLISIS DEL USO DEL ESMALTE PARA LAS PINTURAS PERTENECIENTES AL RETABLO MAYOR DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL: *MARÍA MAGDALENA, LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES, LA CIRCUNCISIÓN; LA RESURRECCIÓN*, HUEJOTZINGO, PUEBLA

Para el caso de las pinturas del Retablo Mayor del Templo de San Miguel Arcángel se realizó un procedimiento análogo al que se utilizó en la pintura de Susana y los Viejos. Nuevamente se desea saber si las coloraciones azules, verdes y negras contienen una proporción semejante de esmalte (Co) con respecto a la azurita (Cu) y a los pigmentos ocres y tierras (Fe). En las pinturas analizadas pertenecientes a dicho retablo también se encontró que la mayoría de ellas contenían combinaciones de estos pigmentos en dichas coloraciones. Tenemos entonces que las gráficas de proporción del Cu y Fe con respecto al Co de *María Magdalena, La Adoración de los Pastores, La Circuncisión y La Resurrección* quedan de la siguiente manera (Figura 60 a 63):

María Magdalena

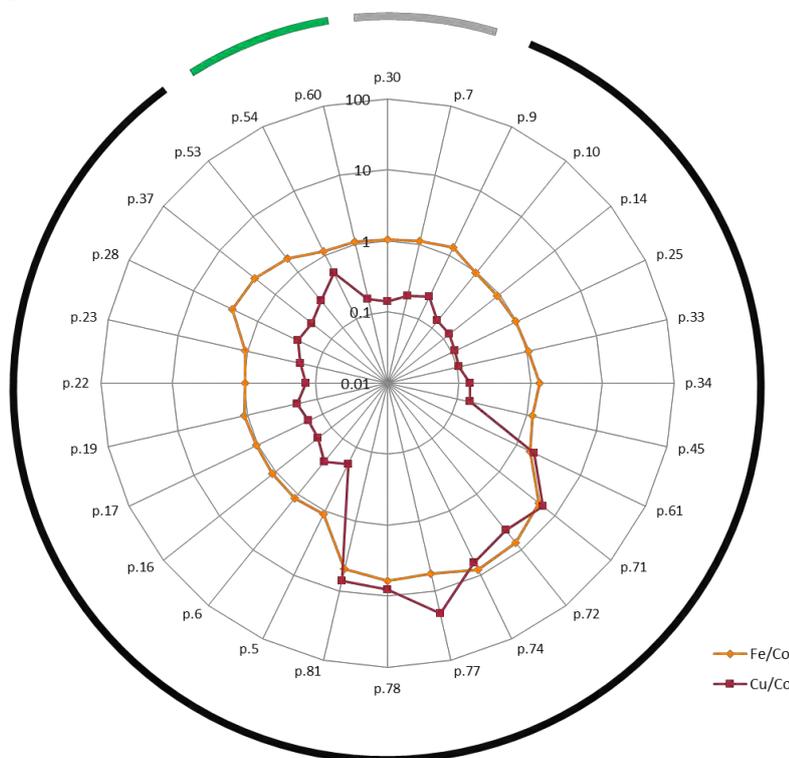


Figura 58: Gráfica de las razones entre el Fe, Cu y el Co para *María Magdalena*.

En el caso de la pintura de *María Magdalena*, las razones de Fe/Co cuyo valor es mayor en comparación con los demás (71, 72, 74, 77, 78, 81) corresponden a puntos de coloración muy oscura (puntos de análisis hechos sobre la firma del autor) lo cual es coherente con la presencia de tierras u ocres. Existe una clara correlación en el aumento de la razón de Cu/Co y de Fe/Co de las coloraciones más oscuras: los resultados indican que son hechas con una mezcla de varios pigmentos, sobre todo con azurita, o verdes hechos a base de cobre.

La Adoración de los Pastores

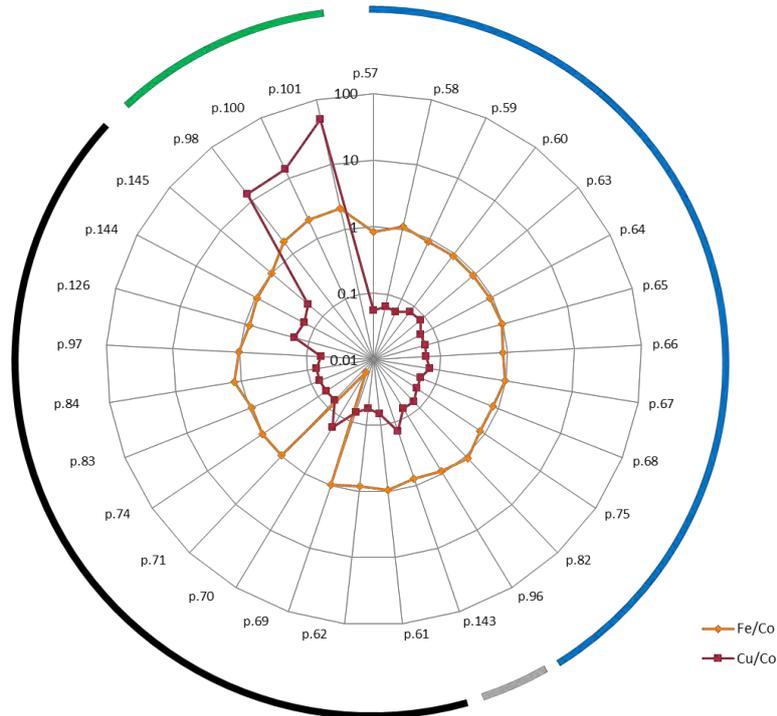


Figura 59: Gráfica de las razones entre el Fe, Cu y el Co para *La Adoración de los Pastores*.

En el caso de *La Adoración de los Pastores* los puntos que presentan una mayor cantidad de Fe y notorio aumento en los contenidos de Cu (98, 100, 101), pertenecen a coloraciones verdes del paisaje y a tonos azules oscurecidos debido al uso de tierras u ocre. También podemos observar que hay un punto (70) cuyo factor tienen un valor muy por debajo de los demás, este punto pertenece a una coloración azul oscura que fue tomada en una región con deterioro.

La Circuncisión

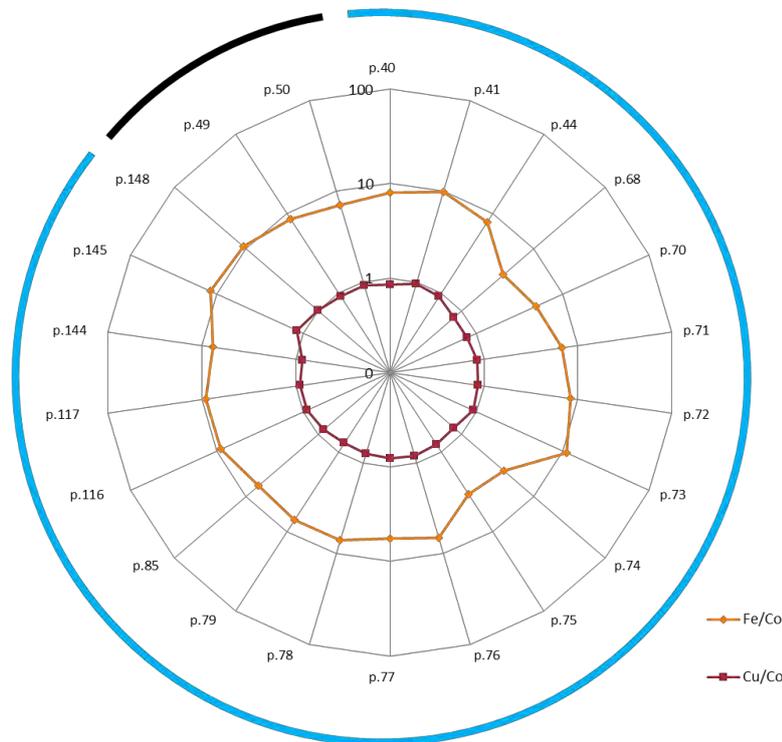


Figura 60: Gráfica de las razones entre el Fe, Cu y el Co para *La Circuncisión*.

En el caso de *La Circuncisión* podemos observar que tanto la proporción Fe/Co y la de Cu/Co son uniformes, estos puntos pertenecen a la capa azul de uno de los personajes lo cual explica que estos tengan una composición uniforme. En estas zonas la presencia de Co y por lo tanto de esmalte, es pequeña. Otra explicación es que la baja intensidad en la señal de Co se podría deber a que debajo de la coloración que se observa en superficie podría haber una capa de esmalte subyacente, cuyos rayos X de emisión pueden ser absorbidos por la(s) capa(s) superiores.

La Resurrección

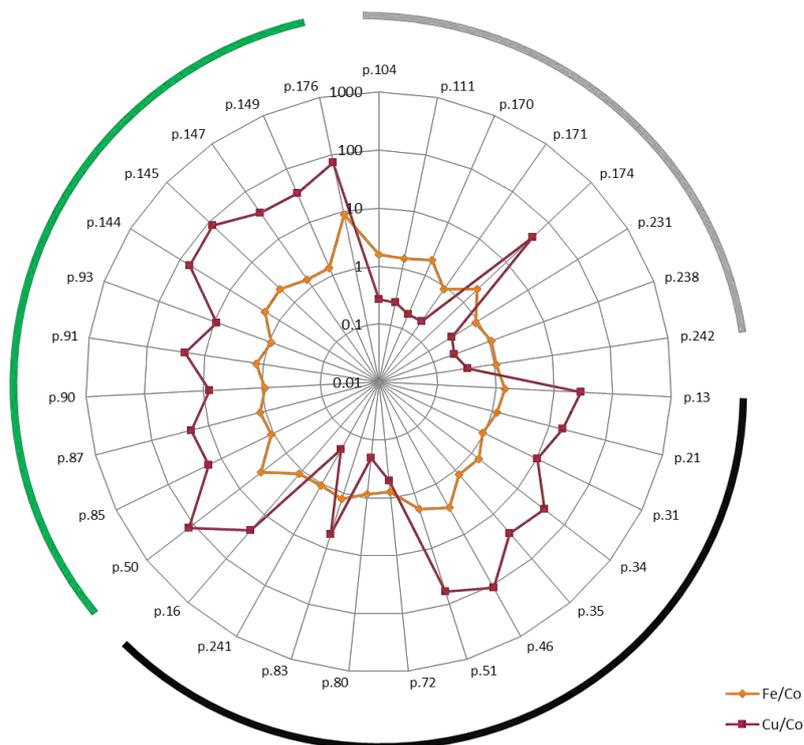


Figura 61: Gráfica de las razones entre el Fe, Cu y el Co para *La Resurrección*.

Por otra parte, podemos observar que la gráfica correspondiente a *La Resurrección* presenta un comportamiento que podría parecer muy variable; no obstante existe una relación Fe/Co más o menos uniforme en casi todos los puntos. En contraste, la relación Cu/Co se incrementa para las regiones más oscuras como en el caso de las otras pinturas, y en las regiones verdes. El punto 174 de color gris de las nubes del fondo diferente al de otras zonas. En cambio en las regiones negras (72 -241) esta relación disminuye; esto podría indicar el uso de otros pigmentos para oscurecer el color; entre los cuales negro de carbón.

En la gráfica de Fe/Co vs Cu/Co (Figura 64) se pueden observar que los puntos se agrupan en dos, en el primer grupo, con los valores mayores de Cu/Co, están contenidos la mayoría de los puntos verdes, negros y uno de coloración gris (174); en estos se incrementa el uso de azurita (o incluso un pigmento verde cobre) para obtener esas coloraciones.

En el segundo grupo, con los valores menores de Cu/Co, se encuentran la mayoría de los puntos de coloración gris y los restantes de las coloraciones negras. Si observamos la imagen correspondiente a los puntos de análisis de *La Resurrección* podemos observar que las coloraciones pertenecientes al segundo grupo son de un tono café-grisáceo. La mayoría de estos puntos se localizan sobre la nube que rodea a Jesús. En los puntos grises la disminución de la relación Cu/Co indica un uso mayor de esmalte con respecto a azurita, mientras que las bajas concentraciones de Cu y Fe para el color negro son acordes con la hipótesis del uso de negro de carbón.

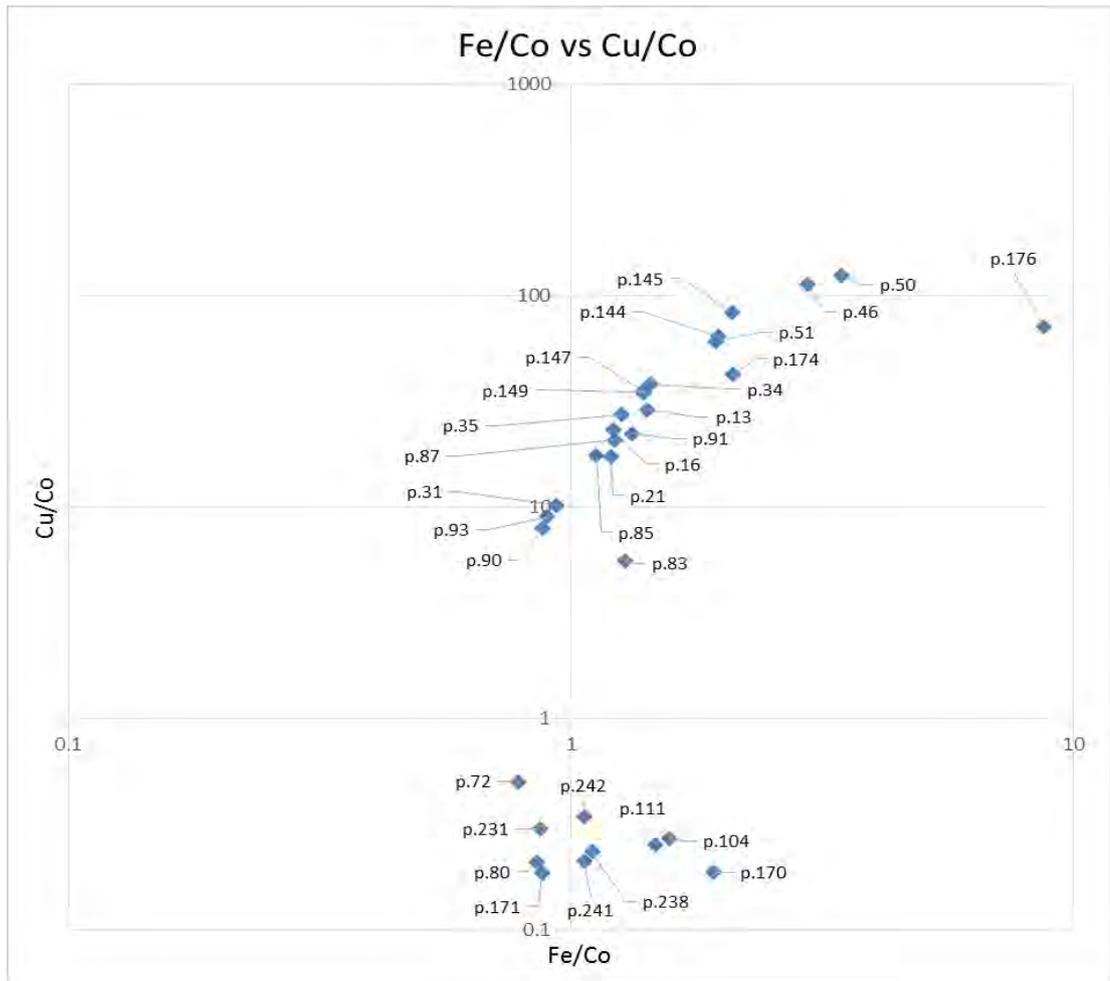


Figura 62: Gráfica complementaria para el análisis de los calores de Fe/Co y Cu/Co de *La Resurrección*.

ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN DEL ESMALTE PARA LAS PINTURAS PERTENECIENTES AL RETABLO MAYOR DE LA IGLESIA DE SAN MIGUEL ARCÁNGEL: *MARÍA MAGDALENA, LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES, LA CIRCUNCISIÓN; LA RESURRECCIÓN*, HUEJOTZINGO, PUEBLA

Como ya se dijo anteriormente, los elementos asociados a la fabricación del pigmentos esmalte son el arsénico (As), el níquel (Ni) y el potasio (K). En esta sección presentaremos una serie de gráficas de la relación de estos elementos, cuya finalidad es observar si el esmalte que se utilizó en cada una de las pinturas tiene las mismas proporciones. Esto podría ayudar a profundizar en el conocimiento del proceso artístico de realización a través del uso del esmalte.

Para este análisis se elaboró una gráfica de radar y se utilizó el programa Statistica para realizar un *análisis de cúmulos* para cada una de las obras y se realizó un procedimiento de análisis análogo al de Susana y los Viejos.

María Magdalena

Para *María Magdalena* (Figura 65y 66), podemos observar que los puntos se agrupan en dos clases. La primera de ellas (30, 14, 25, 33, 34, 16, 17, 19,22, 54, 60) es la que contiene arsénico y la segunda (7, 9, 10, 45, 61, 71, 72, 74, 77, 78, 81, 5, 6,23, 28 37,53) la que no lo contiene. La relación Ni/Co y K/Co es más o menos la misma en todas las zonas analizadas. En el caso del potasio los puntos que más destacan son aquellos de coloración negra que pertenecen a la firma del autor. En el caso del níquel, los puntos que presentan una mayor cantidad de níquel son puntos de coloración negra en la firma del autor y verde pertenecientes al paisaje del fondo. Estos comportamientos se puede deber al uso de una tierra en todas estas coloraciones.

La ausencia de arsénico en algunos de los puntos analizados se puede deber a dos razones. La primera se puede vincular a dificultades para la medición de las señales de este elemento debido a interferencia con colores de plomo (blanco, y amarillo de plomo-estaño) y oropimente. La segunda razón obedece a que probablemente se utilizaron minerales de cobalto distintos, ya que la concentración de arsénico puede variar dependiendo del mineral de cobalto que se utilizó y/o la fabricación del pigmento. En este caso podemos asociar la falta de arsénico a que el pigmento fue fabricado con distintos minerales de cobalto. Podemos observar también que los puntos que no contienen As presentan en su mayoría una menor cantidad de K con respecto a los puntos que si contienen As, esto se puede deber a que en la fabricación del esmalte es necesario agregar carbonato de potasio (potasa) al mineral de cobalto durante el proceso de fabricación, lo que puede variar su composición. Es relevante señalar que estos puntos se encuentran localizados sobre la firma del autor y se encuentran rodeados de una zona de coloraciones cafés, probablemente de esmalte degradado. Además, si observamos la figura 60 podemos ver que hay una mayor presencia de pigmentos tierra en estos puntos, lo que contribuye a este incremento de potasio.

Podemos decir entonces que se emplearon dos pigmentos de esmalte en esta pintura con procesos de fabricación similares pero utilizando materias primas distintas, es decir, minerales de cobalto distintos. Este resultado es notable y es resultado de la sensibilidad de la técnica de XRF.

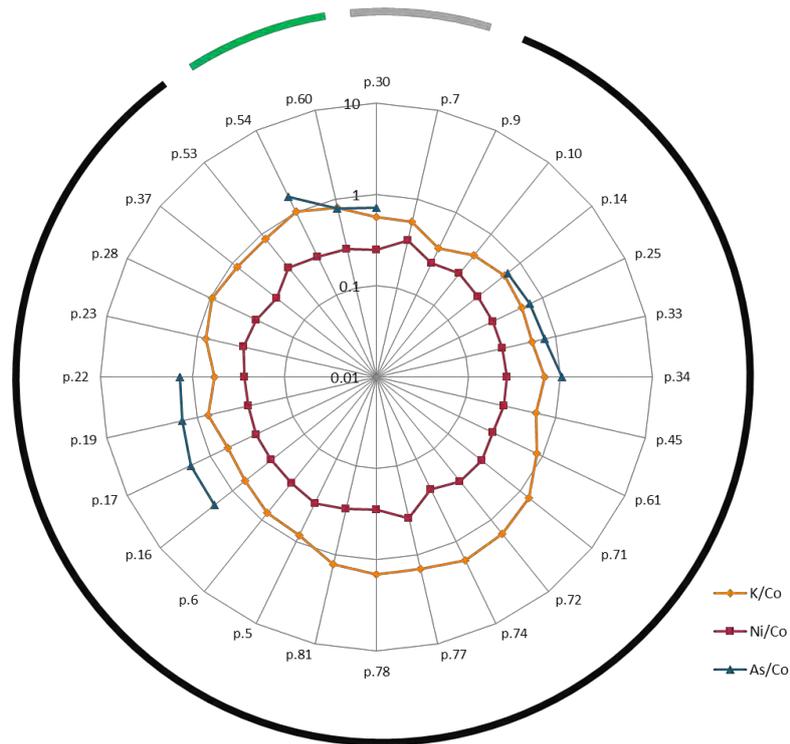


Figura 63: Gráfica de las razones entre el Co y los elementos asociados a la fabricación del esmalte para *María Magdalena*.

Análisis estadístico de composición elemental (XRF) del esmalte en *María Magdalena*. Dendograma para 28 casos Promedio ponderado por grupo. Distancias Euclidianas

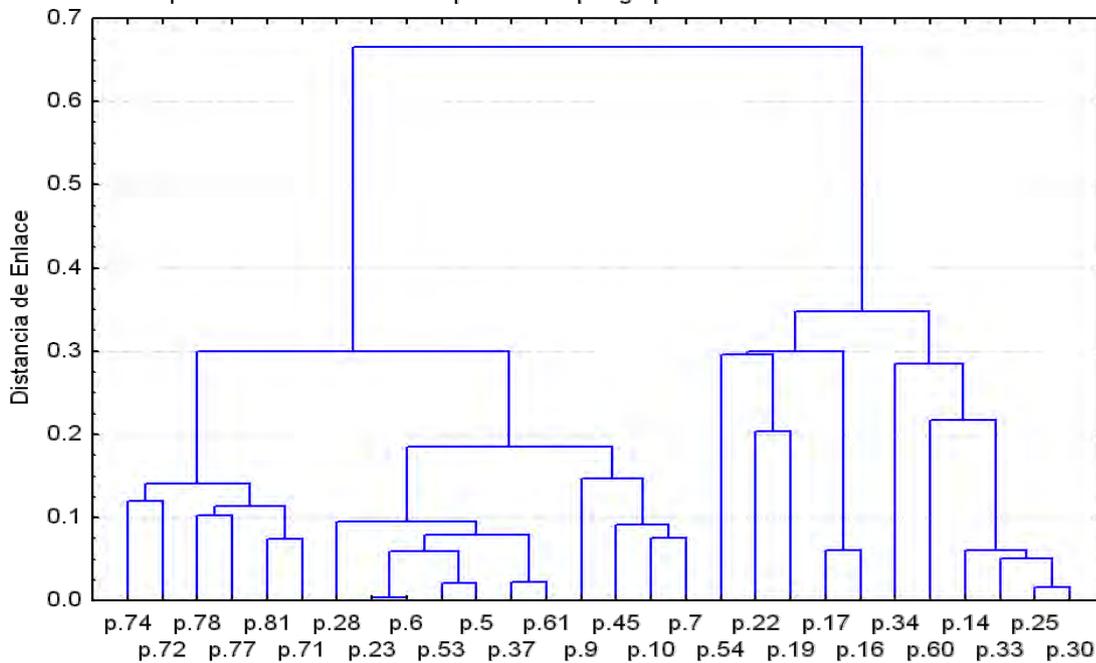


Figura 64: Gráfica de Análisis de cúmulos hecha por el programa Statistica que muestra la agrupación de los puntos de análisis para *María Magdalena*.

La Adoración de los Pastores

Por otra parte, en las figuras 67 y 68, podemos observar que en la pintura *La Adoración de los Pastores* se presentan, al igual que el caso anterior, dos grupos. De manera similar, el primero (57, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 75, 96, 61, 62, 69, 74, 83 84, 97, 126, 144, 145)de estos grupos corresponde a los puntos de análisis donde existe presencia de arsénico y el segundo (82, 143, 70, 71, 98, 100, 101) donde se presenta la ausencia de este mismo. En el caso del grupo donde existe presencia de arsénico, podemos observar que este contiene la mayoría de los puntos que se han escogido para el análisis, así como el hecho de que el factor Ni/Co en este grupo tiene valores bastante similares en la mayoría de los puntos. Podemos observar que los valores de K/Co en este grupo son un poco más variables. Aquellos puntos cuya cantidad de potasio es menor que el de la mayoría, pertenecen, todos salvo uno, al manto de la virgen donde se pueden apreciar coloraciones oscuras ya sean azules o negras. Como ya se dijo, es probable que en esta zona el color negro se haya obtenido mediante la combinación de pigmentos incluyendo negro de carbón, debido a su bajo contenido de potasio y hierro.

El grupo segundo grupo, que no contiene arsénico, presenta una cantidad similar de potasio y níquel que aquellos puntos de las coloraciones azules y oscuras que si tienen arsénico. En el caso de la coloración azul perteneciente a este grupo, y en las zona de deterioro presenta los valores más bajos de Ni/Co y K/Co, probablemente por el proceso de alteración. En el caso de las coloraciones más oscuras, éstas pertenecen al manto de la Virgen.

Las coloraciones verdes pertenecen a puntos en el paisaje del fondo donde la contribución de potasio debido a los pigmentos tierra hace que los valores de K/Co crezcan. Esto lo podemos comprobar observando la figura 60 ya que es en estos mismos puntos dónde se presenta un incremento de la relación Fe/Co.

Debido a la homogeneidad de la relación de Ni/Co y K/Co y a los dos grupos de pigmentos de esmalte podemos inferir el uso de dos pigmentos de esmalte. Uno de ellos – sin arsénico- con concentraciones similares a la de pintura de *María Magdalena*. El esmalte con arsénico tiene en general una relación As/Co mayor al del pigmento de *La Adoración de los Pastores* y probablemente se trata de otra manufactura con minerales de cobalto distintos.

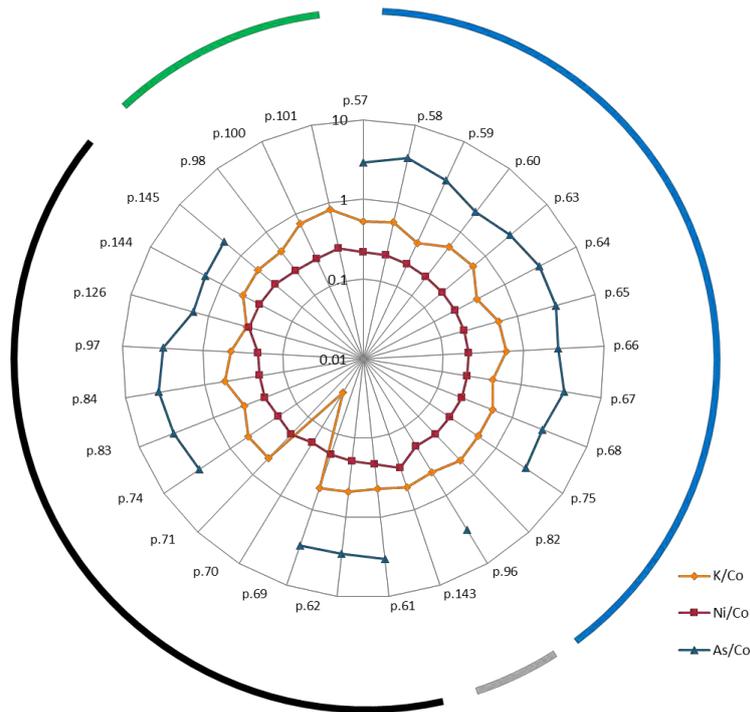


Figura 65: Gráfica de las razones entre el Co y los elementos asociados a la fabricación del esmalte para La Adoración de los Pastores.

Análisis estadístico de composición elemental (XRF) del esmalte en "La Adoracion de los Pastores".
Dendograma para 29casos.Promedio ponderado por grupo. Distancias euclidianas.

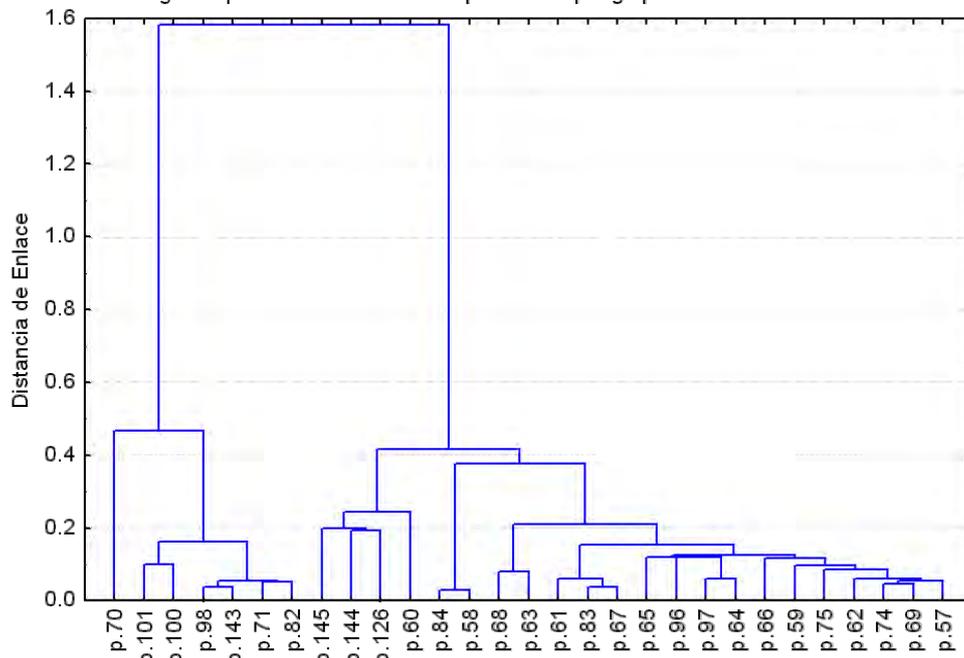


Figura 66: Gráfica de Análisis de cúmulos hecha por el programa Statistica que muestra la agrupación de los puntos de análisis para La Adoración de los Pastores.

La Circuncisión

En la pintura de *La Circuncisión* todos los puntos analizados pertenecen a coloraciones azules, ya sea azules o sombras azuladas, localizadas en la capa de uno de los personajes principales (Figuras 69 y 70). En este caso podemos observar que las coloraciones tienen una composición bastante homogénea con valores similares de Ni/Co, K/Co y As/Co lo que nos lleva a pensar que el esmalte utilizado en esta pintura se realizó con un mismo pigmento de esmalte. La relación As/Co de este pigmento de esmalte es similar al de *La Adoración de los Pastores*.

En la gráfica del análisis de cúmulos podemos ver que se forma un grupo con una región de análisis (p.145) que no se vincula pero que tienen una similitud muy cercana a la del grupo por lo que su separación no es significativa.

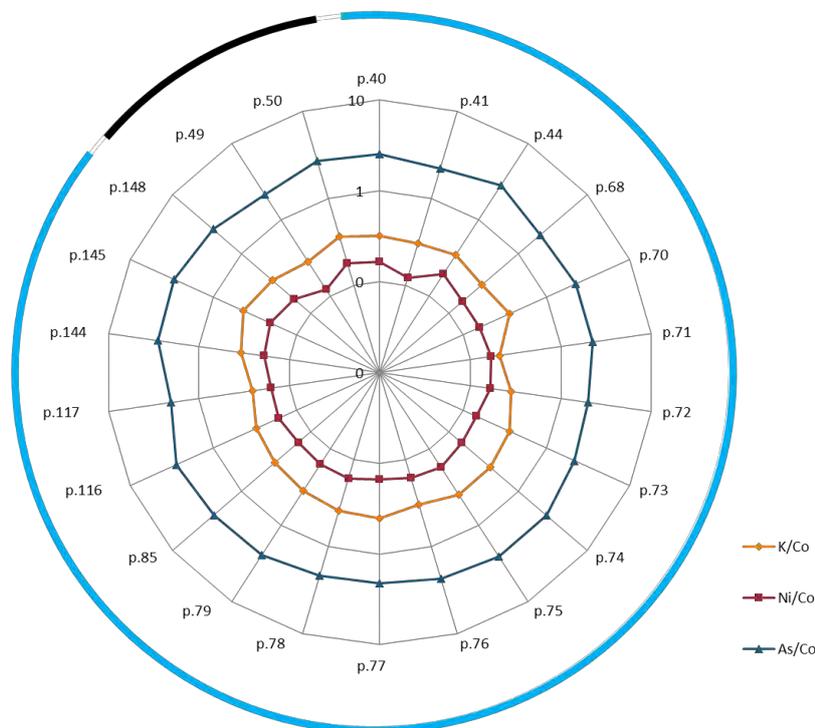


Figura 67: Gráfica de las razones entre el Co y los elementos asociados a la fabricación del esmalte para *La Circuncisión*.

Análisis estadístico de composición elemental (XRF) del esmalte en "LaCircuncisión" Dendograma para 22 casos.Promedio ponderado por grupo. Distancias euclidianas.

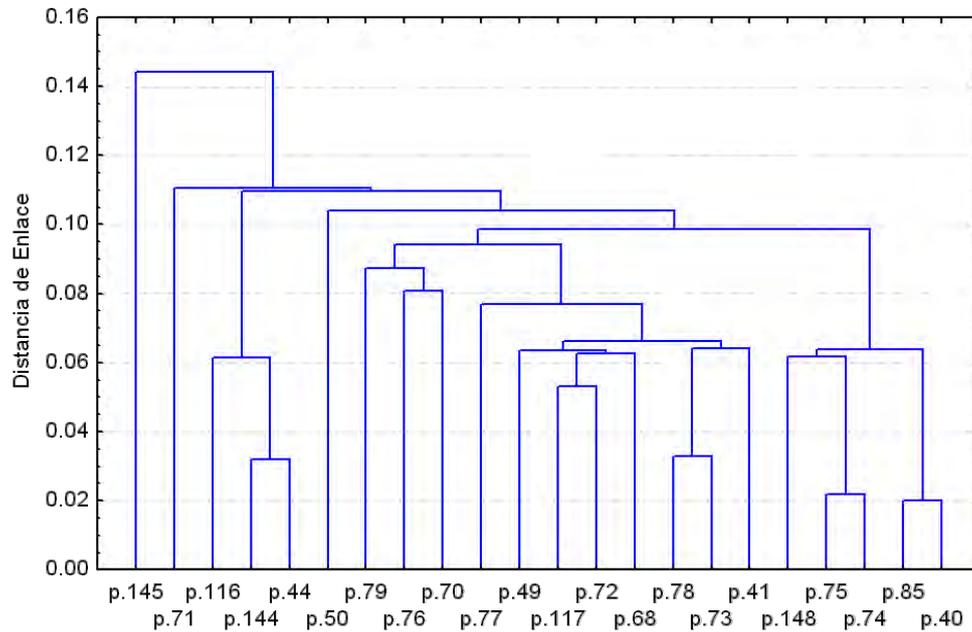


Figura 68: Gráfica de Análisis de Cúmulos hecha por el programa Statistica que muestra la agrupación de los puntos de análisis para *La Circuncisión*.

La Resurrección

En la gráfica correspondiente a *La Resurrección* (Figura 71) podemos ver que los puntos correspondientes a K/Co y Ni/Co muestran un comportamiento menos homogéneo, así como también podemos observar que existen puntos que contienen arsénico y otros que no; y que algunos puntos no presentan níquel

En la gráfica de análisis de cúmulos (Figura 72) podemos observar que el grupo principal se divide en dos subgrupos. Estos subgrupos, (13, 21, 31, 34, 35, 51, 72, 80, 16, 85, 87, 90, 91, 93, 147) y (104, 111, 170, 171, 174, 231, 238, 242, 46, 83, 241, 50, 144, 147, 149, 176), se diferencian por su contenido de arsénico.

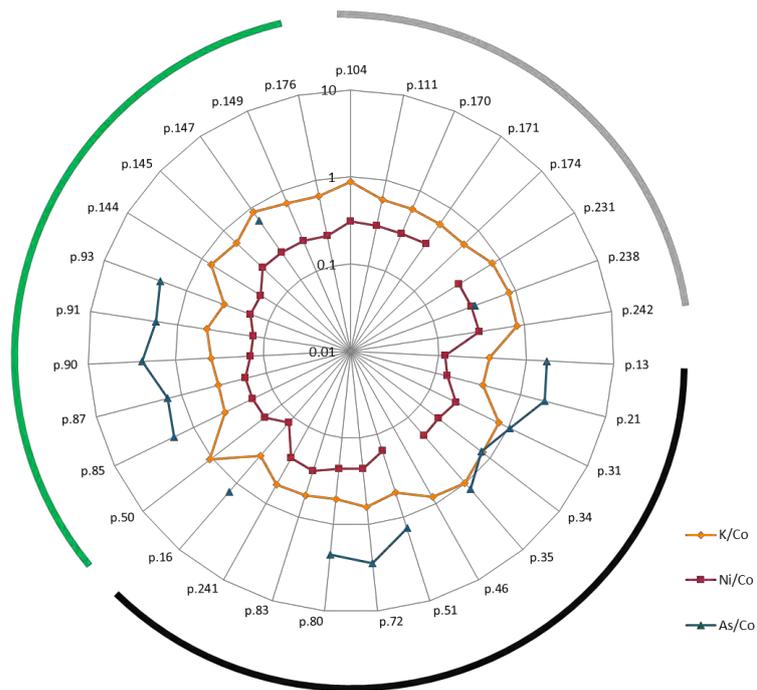


Figura 69: Gráfica de las razones entre el Co y los elementos asociados a la fabricación del esmalte para *La Resurrección*.

Análisis estadístico de composición elemental (XRF) del esmalte en "La Resurrección". Dendograma para 31 casos. Promedio ponderado por grupo. Distancias Euclidianas

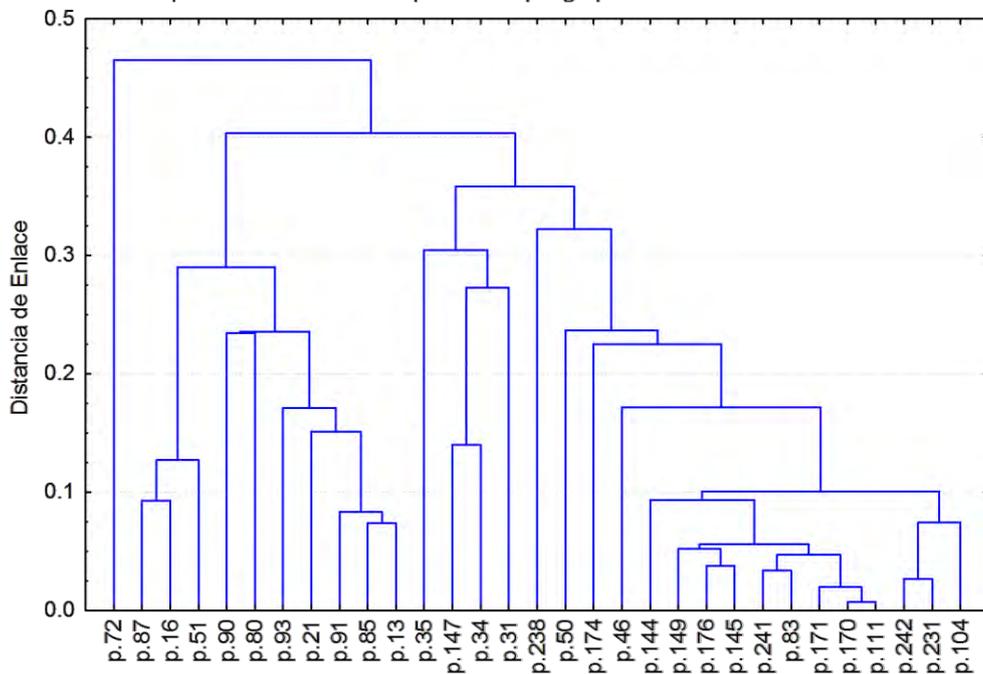


Figura 70: Gráfica de Análisis de Cúmulos hecha por el programa Statistica que muestra la agrupación de los puntos de análisis para *La Resurrección*.

La comparación de los valores de las razones K/Co y Ni/Co sugieren que el uso de dos tipos de pigmentos de esmalte, uno con arsénico (Tipo I) y otro sin arsénico (Tipo II). El esmalte sin arsénico es similar al de *La Adoración de los Pastores*, mientras que el esmalte con arsénico presenta dos subgrupos de composición de pigmentos; uno con razones As/Co de valores más altos que corresponden con *La Adoración de los Pastores* y *La Circuncisión*, y otro con valores menores, más similar a *María Magdalena*. Esto implica que en realidad se pudieron usar al menos tres pigmentos de esmalte en *La Resurrección*. Otros esmaltes podrían corresponden al pigmento sin níquel (p. 46 y p.174) y con bajos contenidos de arsénico (p.147, p.238), no obstante no se cuentan con suficientes mediciones para corroborarlo.

A partir de los valores observables para las razones K/Co, Ni/Co y As/Co en la composición de los pigmentos de esmalte, podemos establecer su uso en las pinturas de Huejotzingo de la siguiente manera:

Tabla 19: Esmaltes utilizados en la realización de las pinturas del retablo mayor de la iglesia del ex convento de San Miguel Arcángel, Huejotzingo, Puebla.

Pintura	Tipo I sin As	Tipo II con As
María Magdalena		X
La Adoración de los Pastores	X	
La Circuncisión	X	
La Resurrección		X

Como ya se ha mencionado en este capítulo, la variación de los elementos asociados al esmalte puede deberse a varios factores, los principales son el método de fabricación y el tipo de mineral con el que el esmalte fue fabricado.

Por otra parte, la variación en las intensidades registradas para cada uno de los elementos asociados al esmalte, y a otros elementos, también se puede deber a la eficiencia de detección del sistema de XRF (Figura 73). En el caso del detector Si-PIN en combinación con un tubo de rayos X de Molibdeno, la sensibilidad máxima se encuentra alrededor de 7.5 keV (línea $K\alpha$ del Ni= 7.478 keV) lo que podría provocar que las intensidades de los rayos X de emisión de elementos ligeros, como el K, sean detectados con menos precisión que los elementos que se encuentran fuera del área de mayor sensibilidad en la curva de calibración. Esto afectaría sobre todo al Si y K, pero no sería relevante para Cu, Ni y As.

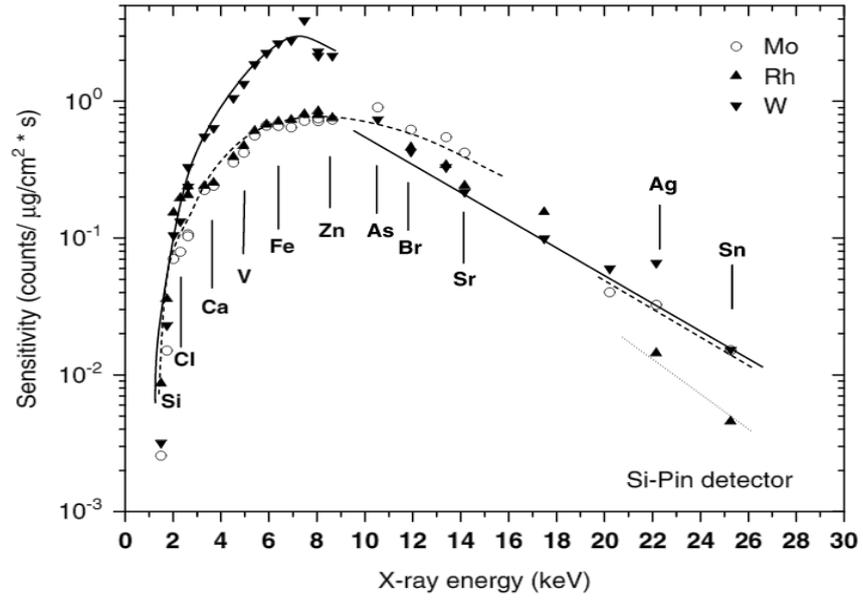


Figura 71: Curva de sensibilidad como función de energía de rayos-X para el detector Si-PIN utilizando tubos de rayos X de Mo, Rh y W, usando condiciones similares (0.3mA, 45 kV).

ESTUDIO DE PIGMENTOS ROJOS Y LACAS ROJAS EN LAS OBRAS ESTUDIADAS

Para el caso de las coloraciones rojas y aquellas que pudieran derivar de la combinación de pigmentos rojos con algún otro, como es el caso de los cafés y encarnaciones, se realizó un procedimiento similar al de la sección anterior. En particular, se desea saber si se usó la misma proporción de bermellón, hematita y tierras rojas para crear los pigmentos utilizados para los tonos rojos, cafés y encarnaciones. También se desea ver si existe presencia de laca roja en las coloraciones antes mencionadas. Los elementos que se asocian a cada uno de los rojos utilizados son el mercurio (Hg) para el bermellón, hierro (Fe) para las tierras rojas y hematita, y el potasio (K) para las lacas rojas.

La presencia de lacas rojas no se puede medir directamente con análisis de XRF debido a que las componentes que le dan el color son orgánicas, ya que son obtenidas generalmente de insectos. La sustancia pigmentante era generalmente mezclada con alúmina de potasio la cual se usaba para formar un substrato para el colorante (114). En este caso la variación en la presencia de potasio será un indicador en el uso de lacas. Para hacer el análisis de uso de lacas rojas se llevar a cabo una serie de graficas ternarias cuya función es indicar la proporción de Fe, Hg y K en cada uno de los puntos analizados. Se presentará el mismo esquema de análisis utilizado en las secciones anteriores.

Susana y los Viejos

Se puede observar en el diagrama ternario correspondiente (Figura 74) que los puntos analizados presentan dos distribuciones. La mayoría de las zona presentan K en muy poca cantidad y se encuentran sobre la línea correspondiente a $K=0.0$, mientras que los demás se agrupan en dos zonas, un grupo con $K=0.1$ y con Hg entre 0.6 y 0.9 y Fe entre 0.05 y 0.4 y otro grupo entorno a $K=0.2$ y $Fe=1$. Para los puntos que se encuentran entorno a $K=0.0$ se puede decir que se prefirió el uso de tierras/ocres rojos y bermellón para la realización de estas coloraciones y que la cantidad de laca presente en las muestras es poca con respecto a la de otros pigmentos. Los puntos que se encuentran más cerca de la línea $K=0.2$ indican que se incrementó el uso de lacas rojas debido al aumento de potasio. Podemos notar también que en la mayoría de los puntos pertenecientes a este grupo, el valor del porcentaje de Hg es mayor que el porcentaje de Fe lo cual indica una mayor cantidad de bermellón con respecto al el uso de tierras/ocres para estos colores. Sin embargo podemos decir que los pigmentos tierras/ocres fueron materiales primordiales en la realización de esta pintura ya que se encuentran presentes en todos los puntos analizados.

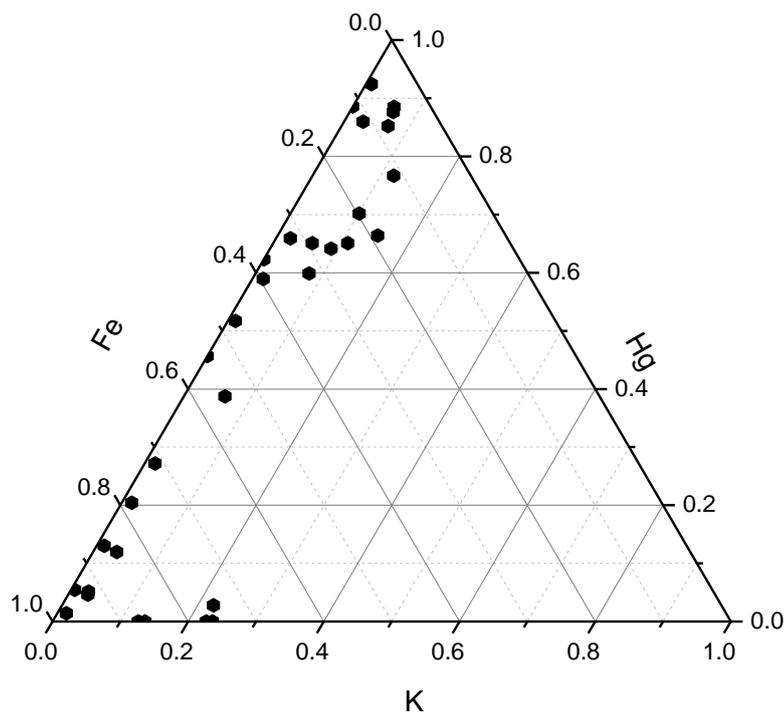


Figura 72: Gráfica de las razones entre el hierro (Fe), mercurio (Hg) y potasio (K) para los rojos y colores derivados del rojo para *Susana y los Viejos*.

Pinturas Pertencientes al Retablo Mayor de la Iglesia de San Miguel Arcángel: *María Magdalena, La Adoración de los Pastores, La Circuncisión; La Resurrección*, Huejotzingo, Puebla

Por otra parte, podemos ver que las gráficas ternarias correspondientes a las pinturas de Huejotzingo muestran un comportamiento similar por lo que se hizo un análisis conjunto (Figuras 76, 77, 78 y 79) y se obtuvieron los siguientes resultados:

- *María Magdalena:*

Se percibe una mayor presencia de lacas rojas en las coloraciones cafés con respecto a las encarnaciones y la coloración roja analizadas debido a que se observa un aumento en la presencia de K con valores que oscilan entre 0.0 y 0.4. (Figura 75). Podemos ver también que la presencia de Hg aumenta en las encarnaciones y en la coloraciones rojas lo cual es indicativo de que para estas se prefirió el uso de bermellón en lugar de tierras/ocres rojos. No obstante, las concentraciones de Hg no son tan altas pues no rebasan el 0.75 y los valores de Fe nunca son menores a 0.25. Se forma un grupo pequeño entorno a este valor.

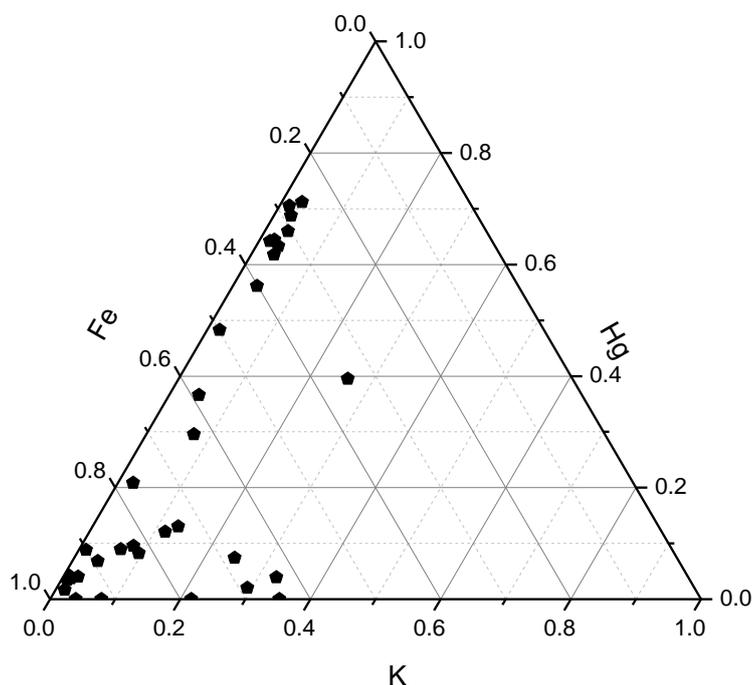


Figura 73: Gráfica de las razones entre el hierro (Fe), mercurio (Hg) y potasio (K) para los rojos y colores derivados del rojo para *María Magdalena*.

- *La Adoración de los Pastores:*

Se tiene poca presencia de lacas ya que son pocos los puntos donde se observa un aumento considerable de K, con valores en torno a 0.15 y un grupo entre 0.3 y 0.4, la mayoría de estos concentrados en las coloraciones cafés (Figura 76). También, aumenta el porcentaje de Hg en las encarnaciones y coloraciones rojas por lo que podemos decir que se incrementó el uso de bermellón en lugar de tierras/ocres. No obstante, se vislumbra un grupo con concentraciones mayores de hierro (a partir de 0.6).

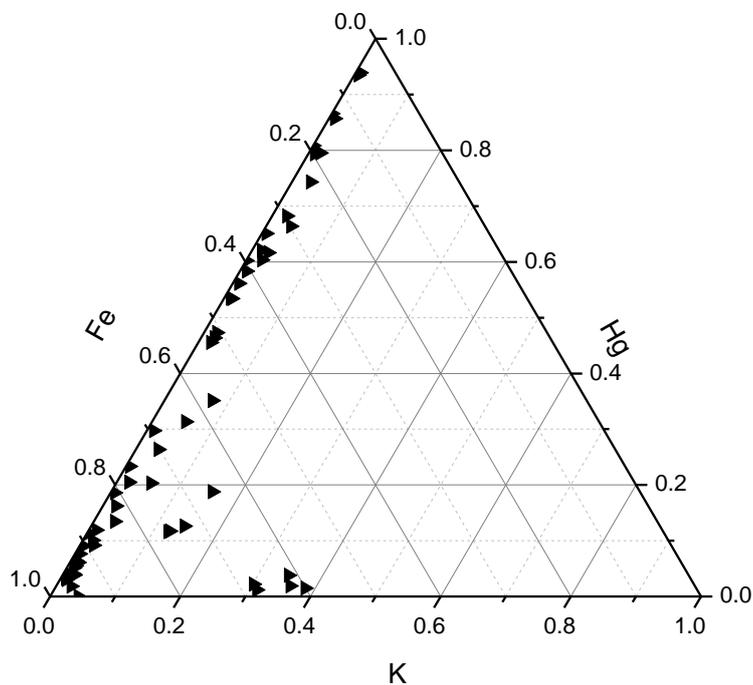


Figura 74: Gráfica de las razones entre el hierro (Fe), mercurio (Hg) y potasio (K) para los rojos y colores derivados del rojo para *La Adoración de los Pastores*.

- *La Circuncisión:*

Se observa muy poca presencia de K y Hg en las coloraciones cafés, con valores altos de Fe (Figura 77). Las encarnaciones, igual que en los casos anteriores presentan un mayor porcentaje de Hg por lo que podemos decir que se sigue usando bermellón como pigmento principal para su realización. Las coloraciones rojas presentan un menor contenido de Hg en comparación con las pinturas previamente analizadas pero en esta obra existe un aumento en la presencia de lacas rojas, con un grupo numeroso con valores entre 0.0 y 0.3 con valores de Fe superiores a 0.5. Por lo anterior podemos decir que en esta pintura el artista prefirió una combinación de lacas rojas, tierras/ocres para la realización de estas coloraciones.

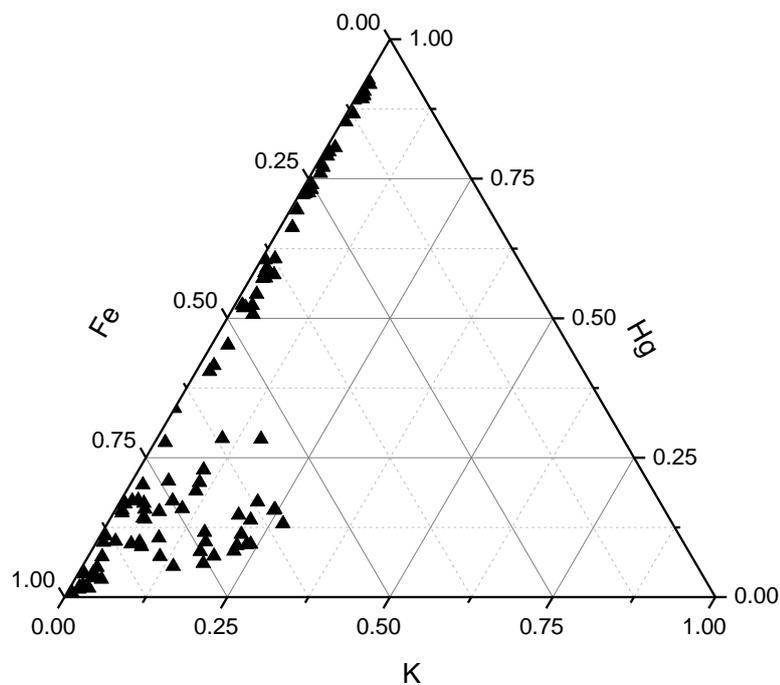


Figura 75: Gráfica de las razones entre el hierro (Fe), mercurio (Hg) y potasio (K) para los rojos y colores derivados del rojo para *La Circuncisión*.

- *La Resurrección:*

Pocos puntos presentan valores de K superiores a 0.05 y menores a 0.2, y se forma un grupo compacto con altos valores de Fe a partir de 0.75, la mayoría de estas mediciones están localizadas en las coloraciones rojas y cafés, esto indica que la presencia de lacas rojas es poca en esta pintura. Las encarnaciones y coloraciones rojas presentan un aumento en el porcentaje de Hg siendo las primeras en las que se observa un mayor número de puntos con alta presencia de Hg. Se sigue utilizando el bermellón como pigmento importante en las encarnaciones sin embargo parece que se utiliza como pigmento complementario para las lacas rojas.

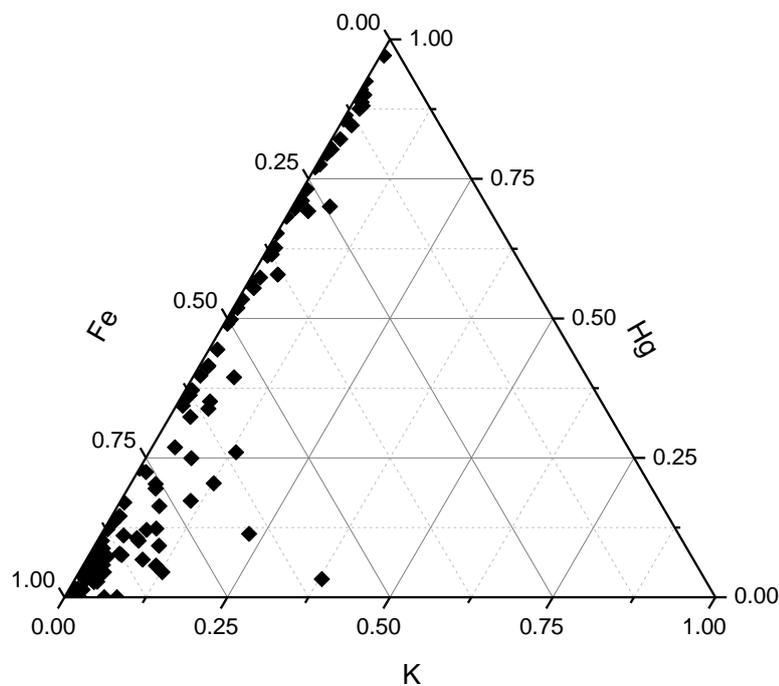


Figura 76: Gráfica de las razones entre el hierro (Fe), mercurio (Hg) y potasio (K) para los rojos y colores derivados del rojo para *La Resurrección*.

Podemos entonces inferir que en las pinturas de Huejotzingo se puede identificar la presencia de lacas rojas en general como un pigmento complementario para las coloraciones cafés en la mayoría de las pinturas. Las coloraciones rojas presentan poca presencia de lacas rojas a excepción de los puntos analizados en *La Circuncisión*, donde el porcentaje de K aumenta con respecto al de las otras pinturas en estas coloraciones. En el caso de las encarnaciones no presentan un porcentaje considerable de K por lo que podemos decir que se utilizó poca laca roja para su elaboración. Sin embargo, se presenta un aumento considerable de Hg en comparación con la mayoría de las coloraciones cafés y rojas por lo que podemos decir que el bermellón fue un pigmento importante en su realización. El uso de tierras rojas/ocres es preponderante en todas las obras.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y PROYECCIONES FUTURAS

CONCLUSIONES

Para la realización de este proyecto de tesis se analizaron 6 obras pertenecientes al del retablo mayor del ex-convento de San Miguel Arcángel, localizado en Huejotzingo, Puebla: *María Magdalena*, *La Adoración de los Pastores*, *La Circuncisión*, *La Resurrección*, la escultura de *San Gregorio* y la escultura de *San Agustín*. Así como la pintura de *Susana y los Viejos* de Martin de Vos perteneciente a la colección Pérez Simón, México.

En general para todas las obras fue necesario implementar una técnica de estudio *in-situ*. En el caso de las pinturas del Retablo, éstas no podían ser retiradas del mismo por lo que fue indispensable la utilización de un andamio para llegar a ellas. En el caso de las esculturas y la pintura de *Susana y los Viejos* éstas no podían ser transportadas al laboratorio por diferentes razones por lo que realizar los estudios *in-situ* fue necesario.

Con el uso de las técnicas de imagen se logró realizar un estudio global previo: utilizando la Imagen Infrarroja de falso color se llevó a cabo una pre-identificación de los pigmentos con los que cada una de las obras fue realizada. Comparando estos resultados con estudios realizados previamente, podemos decir que los pigmentos utilizados en la pintura de *Susana y los Viejos* corresponden a aquellos reportados como representativos de la pintura flamenca Europea del siglo XVI-XVII. Por otro lado, en el caso de las pinturas y esculturas del retablo de Huejotzingo al realizar el examen global utilizando imagen infrarroja de falso color, se pudo observar que la paleta de color utilizada para la realización de las obras estudiadas corresponde con aquellos pigmentos representativos de los siglos XVI-XVII. Algunos de los pigmentos que se lograron pre identificar para todas las obras utilizando la imagen infrarroja de falso color fueron: tierras, ocre, hematita, bermellón, azurita y esmalte. En el caso de *La Resurrección* se pudo identificar el uso de resinato de cobre como pigmento verde, pero en los demás casos no se pudo asociar ningún pigmento verde a las obras. El hecho de que los pigmentos utilizados por el artista en las pinturas del Retablo de la iglesia de Huejotzingo fueran los similares a los utilizados en la pintura de *Susana y los Viejos* permiten corroborar que el artista, y tal vez otros pintores de europeos residentes en la Nueva España, preferían realizar sus obras con pigmentos importados desde el viejo continente debido a que ya conocían la calidad de los mismos. Las fuentes históricas señalan que los pigmentos utilizados por Simón Pereyns eran pigmentos de Castilla, los cuales solían importarse de Venecia y Amberes (108).

Debido a que la Imagen Infrarroja de falso color sólo nos da información cualitativa global y no es específica de las mezclas de pigmentos, es necesario realizar análisis semicuantitativos para poder o no confirmar la información obtenida por medio de las técnicas de imagenología. Debido a la importancia de las obras estudiadas, se quiso realizar un estudio de la manera más completa posible de tal forma que se utilizaran el mayor número de técnicas espectroscópicas no destructivas disponibles. En este caso se utilizaron como técnicas espectroscópicas Fluorescencia de Rayos-X, Espectroscopia Raman y Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR). Sin embargo, la única técnica que arrojó resultados útiles para el estudio fue la Fluorescencia de Rayos-X. El láser del equipo Raman no era el adecuado para dicho estudio pues podía provocar micro quemaduras en la superficie y el barniz de las pinturas causaba un fondo muy alto de fluorescencia, factores que imposibilitaron las mediciones. En las

mediciones realizadas por FTIR los espectros arrojados mostraban sólo espectros correspondientes a la capa de barniz que cubre las pinturas y las esculturas.

Gracias a su naturaleza no invasiva, los análisis mediante XRF permiten llevar a cabo estudios sobre piezas de gran importancia artística e histórica. Este análisis permitió realizar una identificación de una manera más precisa de los pigmentos que componen las obras. La identificación de los pigmentos se realizó mediante la combinación de distintos tipos de información como lo son el color aparente, la información bibliográfica de los pigmentos utilizados en la época, la información química obtenida de los espectros de XRF de los elementos distintivos de cada pigmento, la identificación de los elementos con mayor presencia en la muestra analizada y la comparación de esta información con las distintas bases de datos donde dichos pigmentos han sido reportados.

Los resultados obtenidos del análisis de XRF para la pintura de *Susana y los Viejos* fueron: oropimente, amarillo de plomo-estaño, ocre, azurita, esmalte, tierras, blanco de plomo, bermellón y hematita, mientras que para las pinturas y esculturas del retablo mayor de la iglesia de Huejotzingo fueron: ocre, amarillo de plomo-estaño, oropimente, esmalte, azurita, blanco de plomo, tierras, bermellón, hematita, lacas rojas, negro de carbón y resinato de cobre.

Realizando un análisis comparativo de la información obtenida con la Imagen Infrarroja de falso color y XRF, y de su complementariedad podemos concluir que la información obtenida en ambos caso fue similar. No obstante, la técnica imagen infrarroja de falso color tiene algunas limitaciones como lo son la dificultad para distinguir mezclas de pigmentos, la necesidad de utilizar materiales de referencia para realizar la identificación, la dificultad de distinguir entre pigmentos si estas propiedades ópticas similares en el infrarrojo cercano o alguno de los pigmentos tienen señales dominantes. Sin embargo, la Imagen Infrarroja de falso color, a pesar de ser una técnica meramente cualitativa, también nos ofrece algunas notables ventajas como la capacidad de poder apreciar dibujos preparatorios, correcciones y arrepentimientos, también nos permite identificar pigmentos orgánicos e inorgánicos además de que es una técnica rápida, sencilla y portátil.

La espectroscopia de XRF nos ofrece también ventajas y desventajas en su uso. Una de sus desventajas es el hecho de que no se pueden identificar materiales orgánicos, aunque si es posible inferir su presencia. Sin embargo, la técnica ofrece ventajas realmente importantes como el hecho de ser no destructiva, una profundidad de análisis de 40µm, o inclusive mayores dependiendo de la composición de las capas pictóricas, una buena portabilidad, y en el caso de los equipos SANDRA, el análisis sin contacto con la superficie en regiones pequeñas, y cuenta con la capacidad de registrar la imagen de la región de analizada con precisión.

Para el análisis del uso y composición del esmalte, la interpretación de las gráficas de radar nos indica que Martín de Vos prefirió el uso de esmalte como pigmento azul para la elaboración de *Susana y los Viejos*. También podemos ver que utilizó éste para generar otros colores oscuros como el negro y el café en distintos tonos. Además sólo empleó un pigmento de esmalte en toda la obra.

Para el proceso de elaboración de las pinturas de Huejotzingo se encontró que aunque el esmalte fue un pigmento de gran importancia en su elaboración, el uso de la azurita compitió fuertemente con el del esmalte, y se emplearon de manera combinada. El análisis de XRF mostró que en muchos casos los colores azules y los derivados de estos presentaban un alto contenido de cobre.

El estudio detallado del uso del esmalte para estas pinturas permitió determinar que el esmalte y su uso para realizar las coloraciones azules, verdes y oscuras presenta una composición y uso bastante similar para cada pintura. Asimismo, a partir de la relación de los elementos asociados a la composición y elaboración del esmalte (As, Ni, K, Co) podemos concluir que se emplearon al menos tres tipo de pigmentos de esmalte: uno sin arsénico y dos con dos concentraciones diferentes de arsénico. Esto

implica el uso de diferentes minerales de cobre en su manufactura. Las pinturas de *María Magdalena* y *La Resurrección*, por un lado, y *La Adoración de los Pastores* y *La Circuncisión*, por otra parte, fueron realizadas utilizando los mismos pigmentos. Esto sugiere que estos grupos de obras podrían estar vinculadas a una misma etapa del proceso pictórico de las obras del retablo.

Del análisis del uso de los pigmentos rojos realizado para las coloraciones rojas, cafés y encarnaciones en cada una de las pinturas analizadas, se obtuvo que las lacas rojas fueron pigmentos mayoritariamente complementarios en su realización ya que sólo en algunas regiones se observa una notoria cantidad de K en la composición de estas coloraciones. En el caso de *Susana y los Viejos* pudimos determinar que los pigmentos tierras/ocres fueron esenciales para la realización de estas coloraciones ya que el Fe tienen una presencia considerable en todos los puntos analizados.

En el caso de las pinturas de Huejotzingo el análisis de lacas rojas dio un resultado similar en todas las obras. Se observó que las lacas rojas fueron utilizadas como pigmento complementario en las coloraciones cafés en la mayoría de las pinturas, para las coloraciones rojas pudimos ver que solo en los puntos analizados pertenecientes a *La Circuncisión* se existe una presencia considerable de lacas rojas ya que el porcentaje de K aumento con respecto al de las otras pinturas. Las encarnaciones no presentaron una cantidad de K considerable en ninguna de las pinturas. Sin embargo, se observó un aumento en el porcentaje de Hg y Fe en comparación con las demás coloraciones por lo que podemos concluir que en este caso el bermellón y las tierras fueron los pigmentos esenciales para la elaboración de las encarnaciones.

Se encontró que los pigmentos utilizados para la realización de las esculturas pertenecientes al retablo de la iglesia de Huejotzingo son similares a los empleados en la realización de las pinturas del mismo. Sin embargo, se observó que algunos pigmentos que se encuentran en cantidades y frecuencias menores en las pinturas fueron utilizados en mayor proporción y regularidad en la realización de las esculturas. Un ejemplo de esto es el oropimente, el cual se encontró como parte de las coloraciones amarillas, rojas y verdes en ambas esculturas y en las pinturas solo se observó presencia de este en algunas de las coloraciones amarillas. Otra diferencia que se pudo apreciar fue que se prefirió el uso de azurita al esmalte para realizar las coloraciones azules y verdes en las esculturas.

Estos resultados podrían ser un indicador de que las esculturas fueron policromadas por el mismo artista o taller que realizó las pinturas del retablo

Los resultados de este trabajo son de gran utilidad en la creación de una base de datos de pigmentos utilizados en estas obras y en las primeras etapas de la época virreinal, lo cual facilitará en el futuro las interpretaciones en la realización de las obras, el uso de materiales y técnicas pictóricas, y en general en el estudio del desarrollo de la pintura virreinal.

PROYECCIONES A FUTURO

El estudio de la pintura virreinal requiere de métodos *in situ* para ser investigado de la manera más completa posible. Los estudios desde el punto de vista de las humanidades deben ser complementados por análisis con bases científicas sólidas, ya que como es evidente en este trabajo, los estudios interdisciplinarios resultan sumamente útiles para el desarrollo de nuevas y mejores estrategias de investigación, para proporcionar nuevas informaciones a partir del análisis material, y además contribuyen a obtener información relevante para la conservación y restauración de las obras estudiadas.

Para realizar estudios más completos que conduzcan a una identificación mucho más precisa de los pigmentos utilizados en las obras será necesario complementar los análisis realizados con otras técnicas analíticas no destructivas como lo son: imagen hiperespectral, colorimetría, espectroscopia por reflectancia FORS (Fiber Optics Reflectance Spectroscopy), y difracción de rayos X (XRD)

La imagen hiperespectral podría ayudar a la identificación de pigmentos dependiendo de la forma en la que estos reaccionan ante las diferentes longitudes de onda de la radiación infrarroja (5). La colorimetría permite un análisis mediante la identificación de factor de reflectancia de un material el cual es distintivo de éste. La técnica FORS es utilizada para la identificación de pigmentos, cambios de color, para monitorear la presencia de materiales orgánicos, así como establecer su estado de conservación (115). La difracción de rayos-X puede ser muy útil en la identificación de pigmentos debido a que muchos de ellos son hechos de minerales lo cuales tienen una estructura cristalina capaz de ser determinada con este método. La difracción de rayos-X es un ~~buen~~ método complementario para ~~cuando~~ los análisis de XRF (116).

BIBLIOGRAFÍA

1. **Toussaint, Manuel y Romero de Terreros y Vinent , Manuel.** *El Arte Flamenco en la Nueva España* . Academia Mexicana de la Historia correspondiente a la real de Madrid. Ciudad de Mexico : Academia Mexicana de la Historia correspondiente a la real de Madrid, 1949. Discurso de Recepción leído en la sesión extraordinaria del 10 de febrero de 1949 por el academico Don Manuel Toussaint.
2. *Analytical characterization of artists' pigments used in old and modern paintings by total-reflection X-ray fluorescence.* **Klockenjämper, R., A. von Bohlen, L. Moens y Devos, W.** 4, 1993, Spectrochimica Acta, Vol. 48B.
3. *multilayer quantitative x-Ray fluorescence analysis applied to easel paintings.* **Viguerie, L. De y sole, V. armando.** 395, 2009, Analytical and bioanalytical chemistry .
4. *Study of Wall Paintings and Mosaics by means of Ultraviolet Fluorescence and False Colour Infrared Photography.* **Castro, Fabio y Pelosi, Claudia.** [ed.] Andrea Macchia, Ernesto Borrelli y Luigi Campanella. Roma : s.n., 2009. Proceedings of the International Meeting YOCOCU YOUTH in CONSERVATION OF CULTURAL HERITAGE. págs. 197-199.
5. *Near infrared spectroscopic reflectance imaging: a new tool in art conservation.* **Mansfield, James R. , y otros.** 28 de Febrero de 2002, Vibrational Spectroscopy, Vol. 28, págs. 56-66.
6. *False Color and Infrared Imaging for the Identification of Pigments in Paintings.* **Aguilar-Téllez, Dulce María, y otros.** 2014, MRS Proceedings, Vol. 1618, págs. 3-15.
7. *Computer-Assisted Pigment Identification in Artworks.* **Mazzeo, Rocco, y otros.** Anaheim, CA, USA : s.n., 2007. Proceeding IMSA'07 IASTED European Conference on Proceedings of the IASTED European Conference: internet and multimedia systems and applications.
8. **Hetch, Eugene.** *Óptica.* Tercera. Madrid : addison Wesley Iberoamericana , 2000. págs. 43-50.
9. **euthoga.** Ondas Electromagnéticas y Antenas. [En línea] 23 de octubre de 2015. <https://hk3eu.com/2015/10/23/ondas-electromagneticas-y-antenas/>.
10. **Beiser, Arthur.** *Conceptos de Física Moderna.* Segunda. s.l. : McGRAWN-HILL, 1992.
11. **Facts, Green.** Green Facts. [En línea] 29 de septiembre de 2016. <http://copublications.greenfacts.org/es/lamparas-bajo-consumo/figtableboxes/light-spectrum.htm>.
12. **Liceocuatro, Tercerodos.** Tercerodos Liceocuatro . [En línea] 13 de julio de 2014. <http://tercero2liceo4.blogspot.mx/>.
13. **Beiser, Arthur.** *Conceptos de Física Moderna.* [trad.] Arturo Nava Jaimes. Segunda. s.l. : McGRAWN-HILL, 1992. pág. 43.
14. **Nave, R.** HyperPhysics. *X-ray Transitions.* [En línea] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/xterm.html>.
15. **Chang, Raymond y College , Williams .** *Química.* Séptima edición . s.l. : McGRAWN-Hill, 2002.

16. Gillespie, Ronald J., y otros. *Química*. [trad.] Aurelio Beltran. s.l. : Reverte, 1990.
17. C., Mortimer. *Química*. Quinta. México : Grupo Editorial Iberoamericano S.A. de C.V., 1983.
18. educarex. [En línea] http://contenidos.educarex.es/mci/2008/52/optica/optica_fis2.html.
19. [En línea] <http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8250/4/T6rayosX.pdf>.
20. Universidad Autónoma de Coahuila . *Facultad de Ciencias Químicas* . [En línea] http://quimicas.paec.uadec.mx/courses/ESPECTROSCOPIADECOMP/document/Rad._Electromagnetica.pdf?cidReq=ESPECTROSCOPIADECOMP..
21. Bayarri, Salvador. bayarrilibros. [En línea] http://bayarrilibros.blogspot.mx/2014_11_01_archive.html.
22. Química. [En línea] <http://trabajo-quimica.blogspot.mx/>.
23. cubaeduca. *LA LUZ EN LA NATURALEZA Y EN EL LABORATORIO*. [En línea] http://www.cubaeduca.cu/medias/cienciatodos/Libros_1/ciencia2/32/htm/SEC_9.HTM.
24. Antigua Física Cuántica . [En línea] http://wdb.ugr.es/~bosca/Old_Fisica-Cuantica/?p=18.
25. Todos, La Ciencias para. bibliotecadigital.ilce. [En línea] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/094/htm/sec_6.htm.
26. Piasenzotto, Franco. RADIOLOGÍA. [En línea] 15 de agosto de 2014. <http://rx-roentgen.blogspot.mx/>.
27. Revilla, Miguel Antón. [En línea] http://pendientedemigracion.ucm.es/info/opticaf/OPT_FIS/apuntes_sueltos_prov/pdf/Tema3_a.pdf .
28. [En línea] https://en.wikipedia.org/wiki/Raman_scattering#/media/File:Ramanscattering.svg.
29. Muñoz, Jordi Bonastre. Propagación de ondas electromagnéticas. [En línea] [https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Fisica/Fisica_II_ES/Fisica_II_ES_\(Modulo_5\).pdf](https://www.exabyteinformatica.com/uoc/Fisica/Fisica_II_ES/Fisica_II_ES_(Modulo_5).pdf).
30. Martinez, Ana Santiago. Movimiento Ondulatorio: Clasificación de las ondas. [En línea] http://equipo2fisica3.blogspot.mx/2014/02/ondas-estacionarias-perdida-de-energia_26.html.
31. *Analysis of Art Objects Using a Portable X-Ray Fluorescence Spectrometer*. Moioli, Pietro, Seccaroni, Claudio. 29, Roma : s.n., 2000, X-Ray Spectrometry.
32. *Raman microscopy as a structural and analytical tool in the fields of art and archaeology*. Clark, Robin J.H. London : ELSEVIER, 25 de Octubre de 2006, Journal of Molecular Structure.
33. Oslen, E.D. *Metodo Opticos de Analisis*. New York : McGRAWN_HILL, 1990. págs. 1-3.
34. *NON-DESTRUCTIVE TESTING APPLIED TO PRELIMINARY STUDY ON METALLIC HERITAGE*. Miralles, J., Ferrazza, L. y Traver, I. Valencia : s.n., 2011. 12º Congreso Español de Ensayos No Destructivos.
35. *Image spectroscopy mapping technique for noninvasive analysis of paintings*. Casini, Andrea, y otros. 1, 1999, Studies in Conservation, Vol. 44, págs. 39-48.
36. Skoog, D.A., Holler, F.J. y Nieman, T.A. *Principios de Analisis Instrumental*. Quinta. Madrid : McGRAWN-HILL, 2001. pág. 411.

37. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. [En línea]
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/401539/execute-20de%20agosto/leccin_7_teor%C3%ADa_de_la_absorci%C3%B3n_en_el_ir.html.
38. Brill, Thomas B. *Light:Its Interaction with Art and Antiquities*. New York : Plenum Press, 1980. pág. 11.
39. Matteini, Mauro y Moles, Arcangelo . *La química en la restauración: los materiales del arte pictórico*. [trad.] Emiliano Bruno y Giuliana Lain . Segunda. s.l. : NEREA, 2008. págs. 33-36.
40. Pereira, Jose. Digital Heritage. [En línea] <http://www.jpereira.net/apuntes-brevs/la-fotografia-infrarroja-en-la-documentacion-de-patrimonio-de-la-obra-pictorica-al-arte-rupestre>.
41. Madrid, Universidad Complutense de. Oficina de Tranferencia de Resultados de Investigación . *Complutenco: Conservación del Patrimonio cultural* . [En línea]
http://pendientedemigracion.ucm.es/info/otri/complutecno/fichas/tec_cdalmau1.htm.
42. Ortega, Mayra D. Manrique. *Análisis no Destructivo por Técnicas Espectroscópicas de las Piedras Verdes del Ajuar del Rey Maya Pakal*. Ciudad de Mexico : s.n., 2012. pág. 19. Tesis de Licenciatura en Física .
43. Kaelble, E.F. *Handbook of X-Rays*. s.l. : McGRAW-HILL, 1967. págs. 1-4.
44. rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8250/4/T6rayosX.pdf.
rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8250/4/T6rayosX.pdf. [En línea]
45. Disher, Brandon, y otros. The Physics of Computed Tomography. [En línea] 21 de marzo de 2006.
http://web2.uwindsor.ca/courses/physics/high_schools/2006/Medical_Imaging/ctphysics.html.
46. Ginzle, Edward. NDT Encyclopedia. [En línea] 17 de octubre de 2009.
<http://www.ndt.net/ndtaz/content.php?id=850>.
47. Instituto de Energías Renovables. [En línea]
http://xml.ier.unam.mx/xml/ms/Doctos/FUNDAMENTOS_FRX.pdf.
48. Aceleradores, Centro Nacional de. Centro Nacional de Aceleradores. [En línea]
<http://acdc.sav.us.es/cna/index.php/67-noticiasyeventos/notasprensa/554-4-2014>.
49. Teresa, Guillermo Tovar de. *Arte Novohispano: Pintura y escultura en la Nueva España (1557-1640)*. Ciudad de México : Grupo Azabache, 1992.
50. Amimura, Rie Kamimura. *El Retablo Mayor del Templo Franciscano de San Miguel Arcángel, en Huejotzingo, Puebla (1584-1586): Estudio Teórico Historiográfico*. Ciudad de Mexico : s.n., 2005. Tesis de Maestría en Hististoria del Arte .
51. Asenjo, Mario López. Breve Historia Hispánica. [En línea] 26 de septiembre de 2012.
<https://brevehistoriahispanica.wordpress.com/2012/09/26/siglo-xvi/>.
52. Bazterrica, Agustina María. <http://www.agustinabazterrica.com/>. [En línea]
<http://www.agustinabazterrica.com/2010/12/convento-san-miguel-de-huejotzingo.html>.
53. Quizlet. [En línea] <https://quizlet.com/15222882/30-midterm-slide-list-flash-cards/>.
54. *Alquimia: Pímentos y Colorantes Históricas*. San Andrés , Margarita , Sancho, Natalia y de la Roja , José Manuel . 1, Enero de 2010, Anales de Química, Vol. 106, págs. 58-65.

55. Bruquetas, Rocio. *Técnicas y materiales de la pintura Española en los siglos de oro* . s.l. : Fundación de Apoyo a la Historia del Arte Hispánico, 2002.
56. Cabello, Monica Marisol Zavala. *Paleta del Pintor Novohispano: los pigmentos y la representación del color* . Ciudad de Mexico : Universidad Nacional Autónoma de México , 2013. Tesis de Licenciatura en Historia .
57. Gómez, María Luisa. *La Restauración: Examen científico aplicado a la conservación de obras de arte*. Quinta . Madrid : Catedra, 2008.
58. Boston, Museum of fine arts. Museum of fine arts Boston . [En línea] 1 de mayo de 2016. http://cameo.mfa.org/wiki/Lead_white.
59. Boston, Museum of fine Arts. Museum of fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] <http://cameo.mfa.org/wiki/Smalt>.
60. Boston, Museum or fine Arts. Museum or fine Arts Boston . *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] <http://cameo.mfa.org/wiki/Orpiment>.
61. Boston, Museum of Fine Arts. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] <http://cameo.mfa.org/wiki/Quercitron>.
62. —. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] <http://cameo.mfa.org/wiki/Massicot>.
63. —. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] http://cameo.mfa.org/wiki/Yellow_ocher.
64. —. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] http://cameo.mfa.org/wiki/Yellow_ocher.
65. Museum of fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] <http://cameo.mfa.org/wiki/Ocher>.
66. Boston, Museum of Fine Arts. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] <http://cameo.mfa.org/wiki/Vermilion>.
67. —. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] http://cameo.mfa.org/wiki/Red_lead.
68. Eastaugh, Nicholas, y otros. *Pigment Compendium: A Dictionary and Optical Microscopy of Historical Pigments*. Oxford : ELSEVIER, 2008.
69. Boston, Museum of Fine Arts. Museum of Fine Arts Boston . *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] http://cameo.mfa.org/wiki/Raw_sienna.
70. —. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] http://cameo.mfa.org/wiki/Burnt_umber.
71. —. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] http://cameo.mfa.org/wiki/Copper_resinate.
72. —. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] <http://cameo.mfa.org/wiki/Malachite>.

73. —. Museum of Fine Arts Boston. *CAMEO: Conservation & Art Materials Encyclopedia Online*. [En línea] http://cameo.mfa.org/wiki/Carbon_black.
74. Victoria, José Guadalupe. *Anales del Instituto de Investigaciones en Estéticas: Un pintor Flamenco en la Nueva España*. Ciudad de Mexico : Instituto de Investigaciones en Estéticas , 1986. Vol. 55.
75. Pérez, Gema Liliana González. *Un Modelo de Genero Representado en una Pintura Novohispana del Siglo XVI: La Virgen Del Perdon de Simon Pereyngs*. Ciudad de Mexico : Universidad Nacional Autónoma de México, 2015. Tesis de Licenciatura en Sociología.
76. ArKeopatías. la fondark: con sabor a patrimonio. *ArKeopatías*. [En línea] <https://arkeopatas.wordpress.com/2014/08/15/de-la-casa-29-la-virgen-del-perdon-un-discurso-social-novohispano-con-vigencia-en-la-actualidad-glg/>.
77. Teresa, Guillermo Tovar de. *Repertorio de Artistas en Mexico*. Ciudad de Mexico : Grupo Financiero Bancomer , 1196. Vol. 1.
78. Manzano, Darío Alberto Melendez. *Anatomía de un cuadro novohispano*. Ciudad de Mexico : Universidad Nacional Autónoma de México , 2010. Tesis de Maestría en Artes Visuales .
79. EcuRed. EcuRed: conocimiento con todos y para todos . [En línea] https://www.ecured.cu/Andr%C3%A9s_de_la_Concha.
80. Alonso, Manuel Zavala. *cultura UNAM*. [En línea] <http://www.artesehistoria.mx/blog/index.php/component/k2/itemlist/tag/Andr%C3%A9s%20de%20la%20Concha>.
81. Arellano, Ana Elvira Yañes. *Martín de Vos y su influencia sobre cuatro pintores novohispanos de la segunda mitad del Siglo XVI y principios del XVII / tesis que para obtener el grado de Maestría en Artes Visuales (Pintura), presenta Ana Elvira Yañez Arellano*. Universidad Nacional Autónoma de México . 2014. Tesis de Maestría en Artes Visuales .
82. Prado, Museo del. Museo del Prado. [En línea]
83. *El rapto de Europa, de Martin de vos, en la coleccion del Museo de Bellas Artes de Bilbao*. Nijkamp, Lieneke. 9, Bilbao : Museo de Bellas Artes de Bilbao , 2015.
84. Lemus, Elsa Minerva Arroyo. *Cómo Pintar a lo Flamenco : el Lenguaje Pictórico de Martín de Vos y su Anclaje en la Nueva España*. Tesis de Doctorado en Historia del Arte . Ciudad de Mexico : s.n., 2015.
85. Museo del Prado. <https://www.museodelprado.es/aprende/enciclopedia/voz/vos-martin-de/aed8ff64-b96b-4723-b598-66277e6d3f5c>. [En línea]
86. Real, Museo Nacional del Prado y Palacio. Museo Nacional del Prado y Palacio Real. *Pintura de los reinos. Identidades compartidas en el mundo hispánico*. [En línea] <https://www.museodelprado.es/actualidad/exposicion/pintura-de-los-reinos-identidades-compartidas-en/592e5ab2-9ea3-4074-a06d-23998cf94ce3>.
87. Instituto Nacional de Bellas, Museo Nacional de San Carlos. *Manierismo: el Arte de la Perfección*. Ciudad de Mexico : Instituto Nacional de Bellas Artes y literatura , 2014.
88. El Universal . *Domingo*. [En línea] 12 de Enero de 2014. <http://www.domingoeluniversal.mx/placeres/detalle/De+lo+corriente+a+lo+art%C3%ADstico-2063>.

89. *XVI Century colonial Panel Paintings from New Spain: Material Reference Standards and Non-Destructive Analysis of Mexican Retablos*. Arroyo, Elsa, y otros. Jerusalem, Israel : s.n., 2008. 9th International Conference on NDT of Art.
90. *Non- Destructive XRF Analysis of Paintings*. Szökefalvi-Nagy, Z., y otros. 226, 2004, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, págs. 53-59.
91. *SANDRA: a portable XRF system for the study of Mexican Cultural Heritage*. Sil, Jose Luis Ruvalcaba, y otros. 39, 2009, X-Ray Spectrometry.
92. Rueda, Malinalli Wong. *Análisis no Destructivo para Caracterización in situ de Pintura Mural Colonial*. Ciudad de Mexico : Universidad Nacional Autónoma de México , 2013. Tesis de Licenciatura .
93. Arroyo, Elsa. Historias de píxel: bitácora de trabajo. [En línea] <http://bitacoradehistoriasdepixel.blogspot.mx/search?updated-max=2014-08-30T07:31:00-07:00&max-results=7>.
94. *Old Master Paintings: a study of the varnish problem*. Rie, E. René de la. 21, Washington, DC : American Chemical Society, 1989, Analytical Chemistry , Vol. 61.
95. *The influence of varnishes on the appearance of paintings*. Rie, E. René de la. 1, s.l. : Taylor and Francis , 1987, Vol. 32.
96. *The Effect of the Refractive Index of a Varnish on the Appearance of Oil Paintings*. Roy S. Berns, E. René de la Rie. 4, s.l. : Taylor and Francis, 2013, Studies in conservation, Vol. 48.
97. Ana Laura Camacho Puebla, Francisco José Jorge Medederos Henry. *Alcances de la técnica de Fluorescencia de Rayos X (XRF) aplicada al estudio de la distribución estratigráfica de pigmentos en la pintura de caballete Novohispana*. Guadalajara : Escuela de Conservación y Restauración de Occidente , 2011. Tesis para obtener el título de Licenciatura fr Restauracion de Bienes Muebles .
98. *X-ray analysis of objects of art and archaeology*. M. Mantler, M. Schreiner. 3, Budapest : s.n., 2000, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 247.
99. *Historical Pigments: a collection analyzed with X-ray diffraction analysis and x-ray fluorescence analysis in order to create a database*. Hochleitner, B., y otros. 2, s.l. : ELSEVIER, 2003, Spectrochimica Acta, Vol. Part B.
100. *X-Ray Fluorescence Spectrometry in Art and Archaeology*. Mantler , Michael y Schreiner, Manfred. 1, Vienna : s.n., 2000, X-Ray Spectrometry, Vol. 29.
101. Verma, H.R. *Atomic and Nuclear Analytical Methods: XFR, Mössbauer, XPS, NAA and Ion-Beam Spectroscopic Techniques*. Berlin : Springer, 2007.
102. *Detection Limit and Estimate of Uncertain of analytical XRF Results*. Rousseau, Richard M. 2, 2001, the Rigaku Journal , Vol. 18.
103. *The use of Smalt in Simon Pereyns panel paintings: Intentional use and color changes*. Espinoza Pesqueira, Manuel E. y Aroyo Lemus , Elsa . 2014, Materials Research Society , Vol. 1618.
104. *Investigation of the discoloration of Smalt pigment in historic paintings by Micro-X-ray Absorption Spectroscopy at the Co K-Edge*. Robinet , Laurianne , y otros. 2011, Analytical Chemistry , Vol. 83.

105. *Investigation of Pigment-Medium Interaction Processes in Oil Paint containing Degraded Smalt*. Spring, Marika , Higgitt, Catherine y Saunders, David. 2005, National Gallery Technical Bulletin, Vol. 26 .
106. *A Preliminary Note on the Incidence of Discolouration of Smalt in Oil Media*. Plesters, Joyce. 2, 1969, Studies in Conservation, Vol. 14.
107. *Analysis of Sculptures Using XRF and X-Ray Radiography* . Calza, C., y otros. 116, 2015, Radiation Physics and Chemistry .
108. *Materiales pictóricos enviados a América en el siglo XVI*. Sánchez, José María y Quiñones, María Dolores. 95, Ciudad de Mexico : Instituto de Investigaciones Esteticas, 2009, Anales del Instituto de Investigaciones Esteticas, Vol. 31.
109. *Mas ha de tener este reatablo...* Frizzi, Ma. de los Angeles Romero. 9, Oaxaca : Centro regional de Oaxaca, Instituto Nacional de Antropología e Historia , 1978, Estudios de Antropología e Historia.
110. *Smalt*. Mühlethaler , Bruno y Thissen, Jean. 2, s.l. : Maney Publishing, 1969, Studies in Conservation , Vol. 14.
111. *Non-destructive XRF analysis of selected Flemish panel paintings in the fine Arts Museum of Seville*. Kriznar, Anabelle, y otros. 2, Sevilla : Routledge, 2014, Journal of the Institute of Conservation , Vol. 37.
112. *Investigation of pigment-medium interaction processes in oil paint containing degradatet Smalt*. Spring , Marika , Higgitt, Catherine y Saunders, David. s.l. : National Gallery Company Limited, 2005, National Gallery Technical Bulletin, Vol. 26.
113. *Investigation of the discoloration of smalt pigment in historic paintings by Micro-X-ray Absortion Spectroscopy at the K-Edge* . Robinet, Laurianne , y otros. 13, s.l. : ACS Publications, 2011, Analytical chemistry , Vol. 83.
114. *the Technology of Red Lake Pigment Manufacture: Study of the Dyestuff Substrate*. Kirby, Jo, Spring, Marika y Higgitt, Catherine. 26, 2005, National Gallery Technical Bulletin .
115. M. Picollo, M. Bacci, A. Casini, F. Lotti, S. Porcinai, B. Radicati, L. Stefani. Fiber Optics Reflectance Spectroscopy: A Non-destructive Technique for the Analysis of Works of Art. [ed.] Sergio Martellucci, Arthur N. Chester y Anna Grazia Mignani. *Optical sensors and microsystems: New concepts, materials, technologies*. New York : s.n., 2002.
116. *A portable X-ray diffraction apparatus for in situ analyses of masters' paintings*. Myriam Eveno, Adrian Duran, Jacques Castaing. 3, s.l. : Springer , 2010, Appl Physics A, Vol. 100.
117. Nave, R. Hyper Physics. [En línea] <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/quantum/xrayc.html#c2>.
118. Ortega Aramburu, Xavier y Jorba Bisba, Jaume. *Radiaciones ionizantes: utilización y riesgos*. Segunda . Catalunya : EDICIONS UPC, 1996. pág. 51. Vol. 1.
119. MEMIM. [En línea] <http://memim.com/auger-electron-spectroscopy.html>.

APÉNDICES

APÉNDICE 1: SUSANA Y LOS VIEJOS

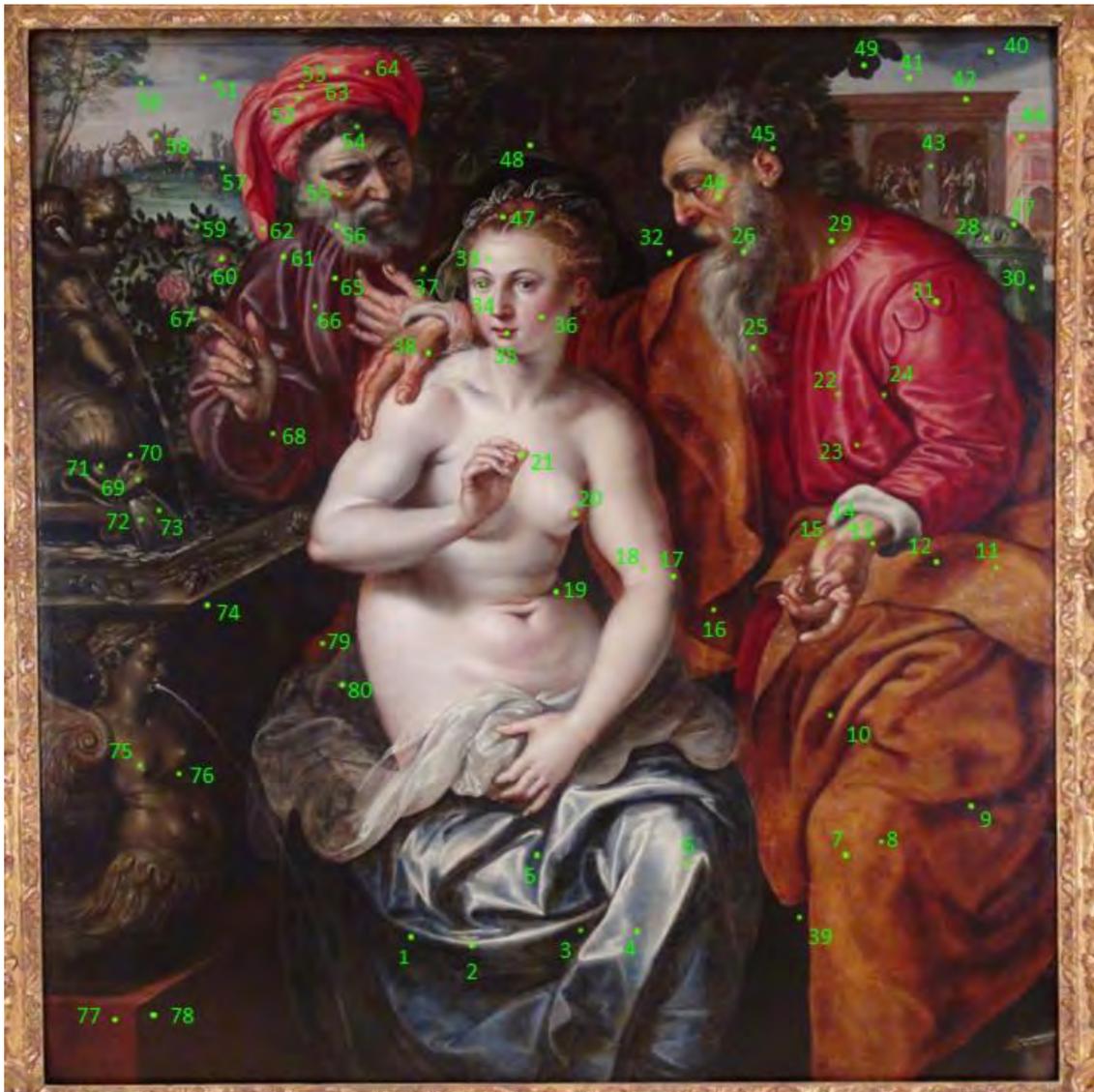


Figura 77: puntos analizados mediante la técnica de XRF, *Susana y los Viejos*. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 20: Orden de intensidad de los picos característicos de cada elemento en relación con el tubo de Molibdeno de XRF para Susana y los Viejos.

Puntos	Descripción	Intensidad Alta	Intensidad Media	Intensidad Baja
Amarillos				
p.7	Manto amarillo del personaje de rojo	Pb, As, Ca		Fe, Zn, Cu, Sr, K, Sn, Mn
p.8	Manto del señor de rojo	Pb, As, Ca	Zn	Fe, Sr, Cu, K, Sn, Mn
p.11	Manto amarillo del personaje de rojo	Pb, As, Ca		Fe, Sr, Zn, Sn, Cu, K, Mn
p.52	Brillo turbante rojo	Pb, As		Hg, Ca, Sr, Sn, K, Fe, Cu
Azules				
p.1	Manto de Susana	As, Pb, Co, Fe, Bi, Ni	K	Ca, Cu, Sr, Cl, Si
p.4	Manto de Susana	Pb, As, Co	Fe, Bi, Ni, K	Sr, Ca, Cu, Cl, Si
p.5	Manto de Susana	Pb, As, Co, Fe, Ni, Bi	K	Ca, Cu, Sr, Si, Cl
p.41	Cielo lado derecho	Pb, As, Co	Fe	Ni, Bi, K, Ca, Sr, Cu, Cl, Si
p.50	Cielo lado izquierdo	Pb, As, Co, Fe, Ni, Bi		K, Sr, Ca, Cu, Si, Cl
p.51	Cielo lado izquierdo	Pb, As, Co		Fe, Bi, Ni, K, Sr, Ca, Cu, Cl, Si
p.80	Manto de Susana	Pb, As	Fe	Co, Ca, Sr, Cu, K, Ni, Cl, Si, Bi
Blancos				
p.2	Brillo manto Susana	Pb, As		Cl, Ca, Sr, Fe, Co, Cu, K Ni
p.6	Brillo manto Susana	Pb	Co, As, Fe	Ni, Sr, K, C, C, Cl
p.63	Brillo turbante	Pb, As		Ca, Sr, Hg, Sn, Cu, Cl, K Fe
Cafés				
p.9	Manto del señor de rojo	Pb, Ca	Zn, Fe	Sr, As, Cu, K, Mn, Co, Cl
p.10	Manto del señor de rojo	Pb, Ca, Zn	Fe	Sr, Cu, K, As, Mn
p.12	Manto del señor de rojo	Pb, Ca	Fe, As, Zn	Co, Sr, K, Cu, Ni, Mn, Cl
p.13	Sombra muñeca señor de rojo	Pb, Fe	Mn, Ca	Hg, Sr, Cu, Zn, Cl, K
p.16	Manto del señor de rojo	Pb, Ca	Fe, Zn	Co, K, Sr, Ni, Cu, Mn, Hg, Cl
p.17	Sombra codo Susana	Pb	Fe, Ca	Sr, Cu, Hg, Zn, Mn, Cl, K
p.42	Cornisa casa del fondo	Pb, Cu, Hg	Fe	Co, Ca, Ni, Sr, K, Mn, Cl
p.47	Cabello Susana	Pb, Fe, As		Ca, Sr, Mn, Cu, Hg, Zn, K Cl
p.58	Personaje del fondo izq.	Pb, Cu, Hg		Fe, Co, Zn, Ca, Ni, K Sr
p.78	Bloque que sostiene la fuente	Pb, Fe, Ca		Sr, Zn, Cu, Mn, Hg, K, Co, Cl
p.79	Fondo a lado del manto de Susana	Pb, As, Co, Fe, Ni, Bi		K, Ca, Zn, Sr, Cu, Cl

Encarnaciones				
p.14	Muñeca Señor de rojo	Pb		Hg, Fe, Sr, Cl, Ca, Cu
p.15	Muñeca Señor de rojo	Pb	Fe	Hg, Ca, Sr, Cu, Cl, Zn, K
p.18	Codo Susana	Pb		Hg, Sr, Ca, Fe, Cu, Cl, Zn, K
p.21	Dedo Susana	Pb		Fe, Hg, Sr, Cl, Cu, Ca
p.29	Cuello Señor de rojo	Pb, Fe		Hg, Ca, Cu, Mn, Sr, Zn, Cl, K
p.33	Frente Susana	Pb		Hg, Cl, Sr, Ca, Fe, K
p.38	Mano Señor de rojo	Pb, Fe	Hg	Ca, Sr, Cu, Mn, Zn, Cl, K Sn
p.46	Mejilla señor de rojo	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Mn, Cu, Cl, K
p.55	Mejilla señor de morado	Pb		Fe, Hg, Ca, Sn, Sr, Cu, Cl, K Zn, Mn
p.67	Dedo señor de morado	Pb, Hg		Fe, Sr, Ca, Cu, Cl, Mn, K
Grisés				
p.25	Barba señor de rojo	Pb	Fe, Ca	Sr, Cu, Hg, Mn, Cl, Zn, K
p.26	Barba señor de rojo	Pb		Fe, Ca, Sr, Hg, Cu, Cl, Mn, K
p.43	Columna casa del fondo	Pb, Cu, Hg	Fe	Ca, Co, Sr, Zn, K, Ni, Cl, Mn
p.54	Cabello señor de morado	Pb	Fe	Ca, Sr, Cu, Hg, Cl, K, Mn, Zn, Co
p.56	Barba señor de morado	Pb		Hg, Sr, Fe, Ca, Cu, Co, Cl, K
Negro				
p.3	Manto Susana	Pb, As, Co, Fe	Ni, Bi, K Ca	Sr, Cu, Cl, Zn
p.19	Sombra abdomen Susana	Pb, Fe	Ca	Hg, Sr, Zn, Cu, K Cl
p.32	Fondo a lado de la nariz del señor de rojo	Pb, Fe, Ca, Cu	Zn	Sr, K, Co, Mn, Cl
p.34	Ojo de Susana	Pb, Ca	Fe, Cu	As, Zn, K Sr, Co, Ni, Mn, Cl
p.39	Fondo de la parte inferior	Pb, Fe, Ca, Zn		Sr, Cu, K, Hg, Mn, Cl
p.40	Negro en el cielo	Pb, As, Co, Fe, Ni, Bi		K, Ca, Sr, Cu, Cl
p.45	Cabello señor de rojo	Pb, Ca	Fe	Sr, Cu, Hg, Mn, Zn, Cl, K
p.70	Sombra fuente	Pb, Ca		Fe, Zn, Sr, Cu, K Mn, Cl
p.71	Fuente	Pb, Ca		Fe, Cu, Zn, Sr, K Mn, Cl
p.74	Sombra fuente	Pb, Ca, Zn, Fe		Cu, Sr, Mn, K Cl
p.76	Sombra fuente	Pb, Ca	Fe, Zn	Sr, Cu, K, Mn, Cl
Rojos				
p.20	Pezón Susana	Pb, Hg	Fe	Cam, Sr, Zn, Cu, Cl, Mn
p.22	Rojo ropa del señor de rojo	Pb, Hg	Fe, Ca	K, Sr, Zn, Cu, Cl
p.23	Rojo ropa del señor de rojo	Pb	Hg	Ca, Sr, Fe, K, Cu, Cl

p.24	Rojo ropa del señor de rojo	Pb, Fe	Ca, Hg, Zn	K, Sr, Cu, Mn, Cl
p.31	Rojo ropa del señor de rojo	Pb, Hg	Ca	Sr, K, Zn, Fe, Cu
p.35	Labios de Susana	Pb, Hg		Fe, Ca, Sr, Zn, Cl, Cu, K, Mn
p.36	Mejilla Susana	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, K
p.44	Tejado casa del fondo	Pb, Hg		Fe, Ca, Co, Cu, K, Cl
p.53	Sombra turbante rojo	Pb, Hg		Sr, Ca, K, Fe, Cu, Cl
p.62	Brillo turbante	Pb	Hg	Sr, Ca, Cl, K, Fe, Cu
p.64	Sombra turbante rojo	Pb, Hg		Sr, Ca, Fe, K, Cu, Cl
Verdes				
p.27	Cúpula construcción del fondo	Cu, Pb, Fe		Ca, Zn, Sr, Co, Sn, Ti, K, Hg, Mn, Cl
p.28	Cúpula construcción del fondo	Cu, Pb	Fe	Ca, Zn, Sr, Sn, Hg, Cl, K, Ti, Co, Mn
p.30	Cúpula construcción del fondo	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, Ti, Hg, K Mn, Co
p.37	Verde a lado de la mano del señor de morado	Pb, Cu		Sn, Ca, Sr, Fe, Hg, K Ni, Cl, Mn, Co
p.48	Verde planta detrás de Susana	Cu, Pb, Fe	Ca	Sr, Co, K, Ti, Ni, Mn
p.49	Verde planta detrás de Susana	Cu, Pb, Fe, As, Ca		Co, K, Zn, Sr, Ni, Mn, Ti, Sn, Cl
p.57	Verde paisaje lado izq.	Cu, Pb, Fe, As		Co, Zn, Ni, K Ca, Sr, Ti, Cl, Mn
p.59	Planta a lado del señor de morado	Cu, Pb, Fe, Ca		Zn, As, Sr, Ti, K Mn, Co, Sn, Ni, Cl
p.69	Fuente	Pb, Ca		Cu, As, Fe, Zn, Sr, Hg, K, Sn, Cl, Mn
p.72	Fuente	Pb		Cu, Ca, Fe, Zn, As, Sr, Cl, K
p.73	Fuente	Pb, Ca, Cu		Fe, Sr, Zn, Cl, K Mn
p.75	Fuente	Pb, Ca		Fe, Zn, Sr, Cu, K Cl
Violetas				
p.60	Flor a lado de la fuente	Pb, Cu, Ca		Fe, Sr, K, Zn, Cl, Co
p.61	Ropa señor de morado	Pb, Co	As	Fe, Ca, K, Ni, Cu, Sr, Zn, Cl
p.65	Ropa señor de morado	Pb, As, Co, Fe, Ni, Bi	K	Ca, Sr, Cu, Zn, Ti, Cl
p.66	Ropa señor de morado	Pb, As, Co, Fe	Ni, Bi	K, Ca, Cu, Sr, Zn, Cl
p.68	Ropa señor de morado	Pb, As, Co, Fe, Ni, Bi	K	Ca, Sr, Cu, Zn, Ti

APÉNDICE 2: MARÍA MAGDALENA



Figura 78: Puntos analizados mediante la técnica de XRF, *María Magdalena*. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 21: Orden de intensidad de los picos característicos de cada elemento en relación con el tubo de Molibdeno de XRF para *María Magdalena*.

Puntos	Descripción	Intensidad Alta	Intensidad Media	Intensidad Baja
Amarillos				
p.29	manto, muslo derecho	Pb	Fe, Ca	K, Co, Mn, Cu, Hg, Si, Cl
Blancos				
p.15	fondo color claro lado izquierdo	Pb	Fe	Ca, Mn, Cu, Cl, K, Si, Co, Hg
p.43	hoja libro	Pb	Ca, Fe	Cu, Mn, Cl, Si, Co, K, Hg
Cafés				
p.3	sombra mejilla	Pb, Fe, Ca	Mn	Hg, Cu, K, Cl, Si
p.4	cabello arriba de las manos	Pb, Fe	Ca	Mn, Hg, Cu, K, Co, Cl, Si
p.8	fondo de lado oscuro lado izquierdo	Pb, Cu, Ca	Fe	Cl, Hg, K, Mn
p.11	fondo junto a la cabeza de María Magdalena	Pb, Cu	Fe, Ca	Mn, Cl, K, Si
p.13	hombro derecho María Magdalena	Pb, Cu	Ca, Fe	Mn, Cl, K, Si, Co
p.21	sombra debajo del pie izquierdo	Pb, Fe, Co	Ca, K	Ni, Cu, Mn, Cl, Si, Hg, Ti
p.26	café de un tronco (lado izquierdo)	Pb, Cu, Ca, Fe		Co, K, Mn, Ni, Cl, Si
p.38	Cabello de María Magdalena	Pb, Fe	Ca	Hg, Mn, Cu, Cl, Co, K, Si
p.39	Cabello debajo del antebrazo derecho de	Pb, Fe	Ca, Mn	Hg, Cu, Cl, K, Zn, Si
p.41	Entre el dedo índice y medio de	Pb, Fe	Ca, Hg	Mn, Cu, Cl, K, Zn, Si, Ti
p.47	Canto del libro	Pb, Fe	Ca	Mn, Cu, Hg, K, Co, Si, Cl, Ti

p.48	Vasija	Pb	Fe, Ca	Mn, Hg, Cu, Cl, K, Ti, Si
p.49	Sombra manga derecha	Pb, Fe, Co	Ca, K	Ni, Hg, Mn, Cu, Si, Cl, Ti
p.51	base de la cruz	Pb, Fe	Ca	Mn, Cu, Hg, Cl, Co, K, Si, Ti
p.52	Fondo lado derecho María Magdalena	Pb, Cu, Ca	Fe	K, Mn, Hg, Cl, Si, Ti
p.57	Techo casa del paisaje	Pb	Hg, Fe, K, Co	Ca, Ni, Cu, Mn, Cl, Si
p.59	Zona ocre de la montaña	Pb, As, Fe, Co	K, Ca	Ni, Cu, Mn, Cl, Si, Ti
p.67	Zona ocre sin deterioro lado izquierdo	Pb, As, Fe, Co	K, Ca	Ni, Cu, Hg, Si, Cl, Mn, Ti
p.68	Sombra tronco	Pb, Fe, Ca, Cu		Hg, K, Mn, Cl, Si, Ti, Co
p.69	Letrero de la firma	Pb, Fe	Hg, Ca	Cu, K, Cl, Mn, Si, Co, Ti
p.70	Fondo cerca de la firma	Pb, Fe	Ca, Cu	Co, Hg, K, Mn, Cl, Ni, Si
p.82	Punto entre las letras	Pb, Fe	Ca	K Hg, Co, Mn, Cu, Cl, Ni, Zn, Si
p.85	Cristo	Pb, Fe	Hg, Ca	Mn, Cu, Cl, Si, K, Ti, Co
Deterioros				
p.55	Zona deteriorada	Pb, Ca, Fe, K, Co	Cu, As, Hg, Ni	Mn, Si, Cl, Ti
p.58	Fondo montaña deteriorada	As, Pb, Co, Fe	K, Ca, Ni	Cu, Mn, Cl, Si
p.62	Zona deteriorada lado izquierdo	As, Pb, Fe, Co, K	Ca, Ni, Cu	Hg, Mn, Si, Ti, Cl
p.63	Zona deteriorada lado izquierdo	As, Pb, Fe, Cu, Co	K Ca	Ni, Hg, Cl, Si, Ti, Mn
p.64	Zona deteriorada lado izquierdo	As, Pb, Fe, Co, K	Ca, Cu, Ni	Mn, Hg, Si, Cl, Ti
p.65	Zona deteriorada lado izquierdo	As, Pb, Co, Fe	K, Ca, Ni, Cu	Hg, Mn, Cl, Si, Ti
p.66	Zona deteriorada lado izquierdo	As, Pb, Co, Fe, K	Ca, Ni	Cu, Si, Hg, Mn, Ti, Cl
Encarnaciones				
p.1	Manos María Magdalena	Pb	Hg, Fe	Ca, Mn, Cl, K, Ti
p.20	Talón Izquierdo	Pb, Hg, Ca	Fe	K, Cu, Cl, Mn
p.24	Talón derecho	Pb, Hg, Fe	Ca	Mn, Cu, Si, Cl, K, Ti
p.35	Parte del brazo de María Magdalena	Pb	Hg	Ca, Fe, Cl, Mn, Cu, K, Si, Ti
p.36	Brazo de María Magdalena	Pb	Hg	Fe, Ca, Mn, Cl, K, Si, Cu, Ti
p.40	Palma de la mano derecha de María Magdalena	Pb	Hg, Fe, Ca	Mn, Zn, Cl, Cu, K, Si, Ti
p.42	Palma de la mano izquierda de María Magdalena	Pb	Fe, Ca, Hg	Cu, Mn, Cl, K, Si, Zn, Ti
p.44	Brazo del lado derecho	Pb	Hg	Ca, Fe, Cl, Si, Mn, K, Cu

p.84	Frente María Magdalena	Pb	Hg	Fe, Ca, Mn, Cu, Cl, Si, K, Ti
Grisés				
p.30	Pliegue color obscuro manto	Pb, Fe, Co, As	K Ca	Ni, Cu, Mn, Cl, Si, Ti
p.56	Torre del poblado, paisaje	Pb	Cu, Fe, K Ca	Co, Ni, Mn, Cl, Si, Ti, Hg
Negros				
p.7	Sombra del manto cerca del cabello	Pb, Fe, Co	K, Ca, Ni	Cu, Mn, Si, Hg, Cl, Ti
p.9)	manto zona oscura cabeza	Pb, Fe	Co, Ca	K, Ni, Cu, Mn, Hg, Si, Ti
p.10	manto zona oscura cabeza (mancha=	Pb, Co, Fe	K, Ca, Ni	Cu, Cl, Mn, Si, Ti
p.14	Nube a la altura de los pies	Pb, Co, Fe	As, K, Ca	Ni, Cu, Si, Cl, Mn
p.25	manto tobillo derecho	Pb, Co, Fe, As, K	Ca, Ni	Cu, Cl, Si, Mn, Ti
p.27	Obscuro de la nube	Pb	Cu, Ca, Fe	K, Mn, Cl, Si, Co
p.34	sombra debajo del codo derecho de María Magdalena	Pb, Fe, Co, As	K, Ca, Ni	Cu, Mn, Cl, Si, Hg, Ti
p.33	Sombra del manto cerca codo	Pb, Fe, As, Co	K, Ca	Ni, Cu, Si, Mn, Cl, Hg, Ti
p.45	Zona oscura entre el brazo y el libro	Pb, Fe, Co	K, Ca	Ni, Cu, Mn, Cl, Si, Ti
p.46	Letra del libro	Pb	Fe, Ca	Mn, Hg, Cu, Cl, K Si, Ti, Co
p.50	Fondo cerca cristo	Pb, Cu, Ca	Fe	Mn, Hg, K, Si, Cl, Ti
p.61	Fondo del paisaje deteriorado izq.	Pb, Cu, Fe, Co, K	Ca	Ni, Hg, Mn, Cl, Ti, Si
p.71	Firma (posible x)	Pb, Cu, Fe	Ca, K	Co, Hg, Ni, Mn, Cl, Si, Ti
p.72	Firma (posible s)	Pb, Fe, Cu	Ca, K, Hg	Co, Mn, Ni, Cl, Si, Ti
p.73	Firma	Pb, Fe, Cu	Ca, K	Hg, Mn, Co, Cl, Ni, Si, Ti
p.74	Firma	Pb, Fe, Cu, Ca	K	Co, Hg, Mn, Cl, Ni, Ti, Si
p.75	Firma	Pb, Fe, Cu	Ca, K	Hg, Co, Mn, Cl, Ni, Si, Ti
p.76	Firma	Pb, Cu, Fe, Ca	K	Hg, Mn, Co, Ti, Si, Cl
p.77	Firma	Pb, Cu, Fe	Ca, K	Co, Hg, Ni, Mn, Cl, Si, Ti
p.78	Firma	Pb, Cu, Fe	Ca, K	Co, Hg, Mn, Ni, Cl, Si, Ti
p.79	Firma	Pb, Fe, Cu	Ca	Hg, K, Co, Cl, Mn, Si, Ti
p.80(negro)	Fecha	Pb, Cu, Fe, Ca	K	Hg, Co, Mn, Cl, Si, Ti
p.81 (negro)	5 de la fecha	Pb, Cu, Fe, Ca	K, Co	Hg, Mn, Ni, Cl, Zn, Si, Ti

p.83	Fondo parte de arriba	Pb, Cu	Ca, Fe	Mn, Hg, Cl, K, Co, Si
Rojos				
p.2	Labio María Magdalena	Pb, Hg, Fe	Ca	Mn, Cu, Cl, K, Si
Verdes				
p.5	Manto de María Magdalena lado izquierdo	Pb	Fe, Co, K, Ca	Ni, Cu, Mn, Hg, Cl, Si
p.6	Punto 5 (cambio de condiciones)	Pb	Fe, Co, K, Ca	Ni, Cu, Cl, Mn, Hg, Si
p.12	Hombro derecho María Magdalena	Pb	Fe, Ca	K, Co, Mn, Cu, Cl, Si
p.16	Montaña verde lado izquierdo	Pb, As, Fe, Co	K, Ca	Ni, Cu, Mn, Cl, Si, Hg, Ti
p.17	Montaña verde lado izquierdo	Pb, As, Fe, Co	K, Ca	Ni, Cu, Mn, Si, Cl, Ti
p.18	Mancha verde lado izquierdo	Pb	Fe, Ca	Cu, K, Mn, Cl, Si, Co
p.19	Verde con mancha encima lado izquierdo	Pb, As, Fe, Co, K	Ca	Ni, Cu, Ti, Si, Mn, Cl
p.22	Verde oscuro del monte lado izquierdo	Pb, As, Co, Fe	K, Ca	Ni, Cu, Mn, Cl, Si, Ti
p.23	Verde oscuro del monte lado izquierdo	Pb	Fe, Co, K, Ca	Ni, Cu, Cl, Mn, Si
p.28	Sobra en la túnica de María Magdalena	Pb	Fe, Ca, Co	K, Mn, Ni, Cu, Hg, Cl, Si, Ti, As
p.31	Verde del fondo parte de arriba	Pb, Cu, Ca	Fe	Mn, K, Cl, Hg, Si, Ti
p.32	Parte clara del manto	Pb	Ca, Fe	K Co, Cl, Cu, Hg, Mn, Si, Ti
p.37	Manto de María Magdalena brazo	Pb	Fe, Ca	Co, K, Mn, Hg, Ni, Cl, Cu, Si, Ti
p.53	Manga derecha del manto	Pb	Fe	Ca, Co, K, Ni, Cu, Cl, Hg, Mn, Si
p.54	Vegetación del fondo	Pb, As, Fe, K, Co	Ca, Cu, Ni	Hg, Mn, Cl, Ti, Si
p.60	Montaña verde lado izquierdo	Pb, Fe	Co, K, As, Ca	Ni, Cu, Mn, Cl, Si, Ti

APÉNDICE 3: LA ADORACIÓN DE LOS PASTORES



Figura 79: puntos analizados mediante la técnica de XRF, *La Adoración de los Pastores*. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 22: Orden de intensidad de los picos característicos de cada elemento en relación con el tubo de Molibdeno de XRF para *La Adoración de los Pastores*.

Puntos	Descripción	Intensidad Alta	Intensidad Media	Intensidad Baja
Amarillos				
p.1	Ropa del personaje lado derecho	Pb, Fe	Ca	Hg, Sn, Sr, Cu, Cl, Mn, K, Si, Ti
p.2	Ropa del personaje lado derecho	Pb, Fe, Ca		Hg, Sn, Sr, Mn, Cl, Cu, K, Si, Ti
p.3	Ropa del personaje lado derecho	Pb, Fe, Ca	Sn	Hg, Cl, K, Mn, Sr, Cu, Si, Ti
p.4	Ropa del personaje lado derecho	Pb, Ca, Fe		Sr, Mn, K, Hg, Cu, Cl, Si, Ti
p.43	Aureola niño Jesús	Pb, Fe	Ca, Hg	Sn, Mn, Cl, K, Sr, Cu, Si
p.115	Ropa del personaje lado derecho	Pb, Fe	Ca	Sn, Hg, Sr, Cl, K, Cu, Mn, Si, Ti
p.137	Aureola San José	Pb	Ca, Sn	Fe, K, Cl, Hg, Sr, Cu, Mn, Si
Azules				
p.14	Túnica del ángel (pierna) pate de abajo	Cu, Pb	Fe	Ca, Zn, Sr, Cl, Hg, Mn, Si, Al
p.15	Túnica del ángel (pierna, sombra) pate de abajo	Cu, Pb	Fe	Ca, Zn, Sr, Ni, Mn, Cl, Hg, K, Ti
p.19	Túnica del ángel (cadera) parte de abajo	Cu, Pb	Fe	Ca, Zn, Cl, Ni, Sr, Hg, Co, Mn, K
p.20	Túnica del ángel (cadera) parte de abajo	Cu, Pb	Fe	Ca, Sr, Zn, Cl, Hg, Ni, Mn, Co, K
p.21	Túnica ángel (espalda) parte de abajo	Pb, Cu	Fe	Ca, Cl, Sr, Zn, Hg, Mn, Si
p.57	Manto de la Virgen a la altura del niño Jesús	Pb, As, Co, Fe	Co, Bi, Ca	Ni, Cu, Sr, Cl, Hg, Mn, Si
p.58	Manto de la Virgen a la altura del niño Jesús	Pb, As, Fe, Co, K	Bi, Ca	Ni, Cu, Sr, Cl, Hg, Si, Mn, Ti, Al
p.59	Manto de la Virgen a la altura del niño Jesús	Pb, As, Co, Fe	K, Ca, Bi	Ni, Cu, Sr, Cl, Hg, Mn, Si, Ti
p.60	Manto de la Virgen a la altura del niño Jesús	Pb, As, Co, Fe	Co, Ca, Bi	Ni, Cl, Sr, Cu, Hg, Si, Ti
p.63	Manto de la Virgen parte inferior	Pb, As, Co, Fe	Co, Bi, Ca	Ni, Cu, Cl, Sr, Hg, Mn, Si, Al, Ti
p.64	Manto de la Virgen parte inferior	Pb, As, Co, Fe	Co, Bi, Ca	Ni, Cu, Sr, Hg, Cl, Si, Mn, Ti
p.65	Manto de la Virgen parte inferior	Pb, As, Co, Fe, K	Ca, Bi	Ni, Cu, Sr, Cl, Hg, Si, Mn, Ti, Al
p.66	Manto de la Virgen parte inferior	Pb, As, Co, Fe, K	Bi, Ca	Ni, Cu, Cl, Sr, Hg, Mn, Si, Al
p.67	Manto de la Virgen parte inferior	Pb, As, Co, Fe	K, Bi, Ca	Ni, Cu, Sr, Cl, Mn, Si, Hg, Ti
p.68	Manto de la Virgen parte inferior	Pb, As, Co, Fe, K	Ca, Bi	Ni, Cu, Sr, Cl, Hg, Mn, Si, Al, Ti
p.75	Manto de la Virgen a la altura del niño Jesús	Pb, As, Co, Fe, K	Bi, Ca	Ni, Cu, Sr, Cl, Hg, Si, Mn, Al
p.82	Manto de la Virgen (hombro)	Pb, Fe, Co	K, Ca	Ni, Hg, Sr, Cl, Cu, Mn, Si, Al

p.96 (azul)	Sombra manto de la Virgen	Pb, As, Co, Fe, K	Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Hg, Si, Mn, Zn, Al
Blancos				
p.26	Cabello ángel (brillo) parte inferior ç	Pb, Fe	Hg	Ca, Cl, Sr, Mn, Cu, K, Si
p.32	Ala de ángel (parte clara) parte inferior	Pb	Hg, Ca, Fe	Cl, Sr, Cu, Mn, K, Si, Al
p.47	Manto niño Jesús	Pb	Ca	Fe, Hg, Cl, Sr, Cu, Mn, Si, K, P
p.88	Velo de la Virgen (cerca mano)	Pb		Ca, Fe, Bi, Hg, Cl, Sr, Cu, Si, K
Cafés				
p.5	Pierna pastor lado derecho	Pb, Fe	Ca	Mn, Sr, Cl, Hg, Cu, K, Si, P
p.6	Piso, entre el Ángel y Pastor	Pb	Ca, Fe, Hg	Sr, Cu, Cl, Mn, Si, K, P
p.10	Sombra ropa de la túnica del Pastor lado derecho	Pb, Fe	Hg, Ca	Mn, Sr, Cu, Cl, K, Si, Zn
p.11	Pierna izquierda del pastor lado derecho	Pb	Fe, Hg	Ca, Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K
p.12	Pie del ángel	Pb, Fe	Ca	Mn, Sr, Hg, Cl, Cu, Si, K
p.25 (café)	Manto San José (parte baja)	Pb	Fe, Ca	Ni, Sr, K, Hg, Cu, Mn, Cl, Ti
p.27	Sombra de la túnica de San José	Pb, Fe, Ca	Mn	Sr, Hg, Cu, Cl, K, P, Si
p.28	Cabello del ángel parte inferior	Pb, Fe	Ca, Mn	Hg, Sr, Cl, Cu, K, Si, P
p.39	Cabello ángel detrás del niño Jesús	Pb, Fe	Ca, Sr	Hg, Mn, Cl, Cu, K, Si
p.42	Ala ángel detrás del niño Jesús	Pb, Fe	Ca, Hg	Mn, Sr, Cl, Cu, K, Si, Ti, P, Al
p.45	Cabello niño Jesús (detrás de la oreja)	Pb, Fe	Ca, Hg	Mn, Sr, Cl, Cu, K, Si, Ti, Al, P
p.49	Fondo (cerca de la rodilla del niño Jesús)+	Pb, Cu, Fe, Ca		Hg, Sr, Mn, Cl, Zn, K, Si, Ti
p.50	Pesebre (parte oscura)	Pb	Ca	Fe, Hg, Sr, Cu, Cl, Zn, Mn, Si, K
p.52	Base del pesebre	Pb, Fe	Ca, Mn	Sr, Hg, Cl, Cu, Zn, K, Si, Al
p.53	Base del pesebre	Pb, Fe	Ca	Mn, Sr, Hg, Cu, Cl, K, Si, Zn, Ti
p.54	Piso debajo del pesebre	Pb	Hg, Cu, Ca, Fe	Sr, Cl, Mn, Si, K, P, Al
p.55	Pesebre (parte deteriorada)	Pb, Fe	Ca	Sr, Mn, Hg, Cl, Cu, K, Si, Al
p.72	Fondo a lado de la Virgen (parte inferior)	Pb, Ca	Fe	Sr, Hg, Cl, Cu, Mn, K, Si, Ti
p.77	Cabello de la Virgen	Pb, Fe	Ca	Hg, Sr, Mn, Cl, Cu, Si, K, Ti
p.80	Parte oscura detrás de la oreja de la Virgen	Pb, Fe	Ca	Mn, Hg, Sr, Cl, Cu, K, Si, Ti
p.90	Cinturón de la Virgen	Pb, Cu, Ca, Fe		Sr, Mn, Bi, Cl, K, Si
p.102	Montañas del paisaje (zona deteriorada)	Pb, Cu, Fe, Co, Bi	K, Ca	Ni, Sr, Cl, Mn, Hg, Ti, Si

p.105	Manto San José (cintura)	Pb, Fe	Ca, Mn	Ni, Sr, Hg, Cl, Co, Cu, K, Ti, Si
p.106	Manto San José (cabeza)	Pb, Fe	Ca, Mn	Ni, Sr, K, Hg, Co, Cu, Cl, Ti, Si
p.107	Túnica San José (debajo del cinturón)	Pb, Fe	Ca, Mn	Ni, Sr, Hg, Cl, Co, Cu, K, Si
p.109	Cabello del pastor arrodillado	Pb, Fe	Hg, Ca, Mn	Sr, Cu, Cl, Ti, Si, K
p.118	Cabello del pastor lado derecho (de pie)	Pb, Fe	Hg, Ca	Mn, Sr, Cl, Cu, Si, K, P
p.121	Lomo del Cordero	Pb	Fe, Ca	Hg, Sr, Mn, Cl, Cu, Zn, K, Si
p.122	Sombra del paisaje a lado del pastor con la lanza	Pb, Cu, Fe	Ca, Co, Bi, K	Sr, Ni, Zn, Mn, Cl, Hg, Si, Al, Ti
p.123	Montaña paisaje (a lado del pasto con la lanza)	Pb, As, Co, Fe, K	Ca, Bi, Ni	Sr, Cu, Cl, Mn, Hg, Si, Ti
p.124	Montaña paisaje (a lado del pasto con la lanza)	Pb, As, Co, Fe	Bi, K, Ca, Ni	Cu, Sr, Hg, Cl, Si, Mn, Ti
p.125	Montaña paisaje (a lado del pasto con la lanza) con alteración	Pb, As, Co, Fe	K, Bi, Ca	Ni, Sr, Cu, Cl, Mn, Si, Hg, Ti, Al
p.127	Sombrero del pastor de la lanza	Pb, Fe	Hg	Mn, Ca, Sr, Cl, Bi, Cu, Si, K
p.128	Sombrero del pastor de la lanza	Pb, Fe	Ca, Mn	Sr, Hg, Cu, Cl, Bi, K, Zn, Ti, Si
p.141	Nube debajo del ángel con el libro	Pb, Cu	Fe	Ca, Sr, Mn, Cl, K, Hg, Si, Ti
p.142	Techo de paja	Pb, Fe	Ca	Sr, Mn, Cl, Cu, Hg, Co, K, Si
Encarnaciones				
p.13	Pie del ángel parte inferior	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K
p.29	Mejilla del ángel parte inferior	Pb	Fe, Hg, Ca	Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K, Ti
p.30	Oreja del ángel parte inferior	Pb, Hg	Fe	Ca, Cl, Sr, Cu, Mn, K, Si
p.31	Dorso de la mano del ángel parte inferior	Pb, Fe	Ca, Hg	Sr, Mn, Cl, Cu, K, Si, Ti
p.35	Dorso de la mano del ángel lado derecho	Pb	Hg, Fe	Ca, Sr, Cl, Cu, Mn, Si, K
p.36	Dorso de la mano de la Virgen	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cl, Cu, Mn, Si, K, Ti
p.38	Frente del ángel detrás del niño Jesús	Pb	Fe, Hg, Ca	Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K
p.40	Dorso de la mano del ángel detrás del pesebre	Pb, Hg	Ca, Fe	Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K
p.41	Mano del niño Jesús	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cl, Cu, Mn, Si, K
p.44	Frente del niño Jesús	Pb	Hg, Fe, Ca	Sr, Cl, Cu, K, Mn, Si, Ti
p.46	Brazo izquierdo del niño Jesús	Pb	Hg, Ca	Fe, Sr, Cl, Cu, Mn, Si, K
p.48	Pierna del niño Jesús	Pb	Fe, Ca, Hg	Sr, Cl, K, Cu, Mn, Si
p.78	Frente de la Virgen	Pb	Hg	Ca, Fe, Cl, Sr, Cu, Mn, Si, Ti
p.92	Dorso de la mano de la Virgen	Pb	Hg	Fe, Ca, Sr, Cl, Bi, Cu, Si, Mn
p.104	Palma mano de San José	Pb	Hg, Fe, Ca	Sr, Cl, Cu, Mn, Si, K
p.108	Mejilla del pastor arrodillado	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K

p.114	Mejilla del pastor con el borrego	Pb, Hg, Fe		Sr, Ca, Cl, Cu, Mn, Si
p.136	Frente San José	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K
p.140	Brazo ángel parte superior	Pb, Hg		Fe, Cu, Ca, Cl, Sr, Si, K
Grisés				
p.51	Sombra del manto del niño Jesús (Pb		Ca, Fe, Sr, Hg, Cl, Cu, P, K, Mn
p.81	Pared detrás de la Virgen	Pb	Fe, Ca	Sr, Cl, Mn, Hg, Cu, K, Si, P, Ti
p.91	Sombra del Velo de la virgen (cerca mano)	Pb	Ca	Fe, Sr, Cl, Cu, Bi, Si, K, Mn
p.99	Columna a un costado de la Virgen	Pb	Fe, Ca	Sr, Cl, Hg, Cu, Bi, Mn, K, Si, P
p.133	Sombra columna detrás de pastor de lanza	Pb	Fe, Cu, Ca	Sr, Mn, Cl, Hg, K, Si, Ni
p.134	Columna a un costado del pastor de la lanza	Pb	Fe, Ca	Sr, Hg, Cl, Cu, Mn, K, Ni, Si
p.135	Columna a un costado del pastor de la lanza	Pb	Fe, Ca	Hg, Sr, Mn, Cl, Cu, Si, K, Co, Ti
p.143	Sombra del Techo de paja	Pb, Co	Fe, K, Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Hg, Si, Mn
Negros				
p.16	Túnica ángel (parte baja) parte inferior	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, Ni, Cl, Mn, K, Hg, Al, Ti
p.17	Túnica ángel (parte baja) parte inferior	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, Cl, Ni, Mn, K, Hg, Si, Al
p.18	Túnica ángel (rodilla) parte inferior	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, Ni, Cl, Mn, K, Hg, Al, Si
p.61	Sombra manto de la Virgen	Pb, As, Co, Fe, K	Bi, Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Si, Mn, Hg, Al, Ti
p.62	Sombra manto de la Virgen	Pb, As, Co, Fe, K	Bi, Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Hg, Mn, Si, Ti, Al
p.69	Sombra manto de la Virgen	Pb, As, Co, Fe, K	Bi, Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Hg, Mn, Si, Ti, Al
p.70	Sombra manto de la Virgen	Pb, Co, Fe, K, Bi	Ca, Ni	Cu, Sr, Hg, Cl, Mn, Si, Ti
p.71	Sombra manto de la Virgen	Pb, As, Co, Fe, K	Bi, Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Si, Mn, Hg, Ti, Al
p.74	Sombra manto de la Virgen	Pb, As, Co, Fe, K	Bi, Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Hg, Mn, Si, Ti, Al
p.83	Sombra manto de la Virgen	Pb, As, Co, Fe	K, Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Si, Mn, Hg, Ti, Al
p.84	Sombra manto de la Virgen	Pb, As, Fe, Co, K	Bi, Ca, Ni	Cu, Mn, Hg, Sr, Cl, Si, Ti
p.94	Vestido de la Virgen (manga)	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, Cl, K, Ni, Mn, Hg, Si, Al
p.97	Manto de la Virgen (hombro) sombra	Pb, As, Fe, Co, K	Bi, Ca, Ni	Cu, Sr, Mn, Si, Cl, Ti, Hg, Al
p.111	Túnica pastor del sombrero	Pb, Cu	Ca, Fe	Sr, Mn, K, Hg, Cl, Si, Ti, Al
p.120	Túnica pastor del sombrero	Pb, Cu	Ca, Fe	Sr, Mn, Hg, K, Zn, Cl, Ti, Si
p.126	Cielo (parte oscura) lado derecho	Pb, As, Co	Fe, Bi, K	Ni, Ca, Cu, Sr, Cl, Hg, Si, Mn, Ti

p.130	Manga del Pastor con sombrero	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, Bi, Mn, Hg, Ni, Cl, K, Al
p.131	Túnica pastor del sombrero	Pb, Cu	Fe, Ca	Bi, Mn, Zn, Sr, Hg, K, Cl, Ni, Ti
p.144	Cielo (parte oscura) lado derecho	Pb, As, Co, Fe	Bi, K, Ca, Ni	Cu, Sr, Cl, Si, Hg, Mn, Al, Ti
p.145	Cielo (parte oscura) lado derecho	Pb, As	Fe, Co, Bi, K	Ca, Ni, Cu, Sr, Cl, Mn, Hg, Si, Ti
Rojos				
p.24	Manto San José (parte baja)	Pb	Ca, Fe	Sr, Hg, K, Cl, Cu, Mn, Si, Ti, Al
p.37	Manto ángel detrás del pesebre	Pb, Hg	Ca, Fe	Sr, Cl, K, Mn, Cu, Si
p.79	Labio de la Virgen	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cl, Cu, Mn, Si, Al
p.103	Manto de San José (hombro)	Pb, Fe	Ca	Hg, Sr, Mn, Cl, Cu, K, Si
p.110	Túnica San José (manga derecha)	Pb	Ca, Fe	Sr, K, Cl, Hg, Mn, Cu, Si, Ti
p.112	Túnica del Pastor de la oveja	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cu, Mn, Cl, K, Si, Ti
p.116	Túnica del Pastor de la oveja	Pb, Hg	Fe, Ca	Cu, Sr, Cl, Mn, K, Si
Verdes				
p.7	Ropa del Pastor arrodillado (parte inferior)	Cu, Pb, Ca	Fe	Sr, Zn, Hg, Cl, K, Mn, Ni, Si
p.8	Ropa del Pastor arrodillado (parte inferior)	Pb, Cu, Ca	Fe	Sn, Hg, Cl, K, Zn, Sr, Mn, Ni, Si
p.9	Ropa del Pastor arrodillado (parte inferior)	Pb, Cu, Ca	Fe	Sn, Zn, Sr, Mn, Hg, K, Cl, Si, Ti
p.22	Ropa del Pastor arrodillado (manga)	Pb, Cu, Ca	Fe	Sn, Sr, Cl, Hg, Zn, K, Mn, Si, Al
p.23	Ropa del Pastor arrodillado (manga)	Cu, Pb, Ca	Fe	Zn, Sr, K, Hg, Cl, Mn, Si, Al
p.33	Tunca del ángel de pie (manga)	Pb, Cu, Ca	Fe	Sr, Sn, Cl, Hg, K, Mn, Si, Al
p.34	Tunca del ángel de pie (manga)	Pb, Ca, Cu, Fe		Sr, Mn, Hg, Cl, K, Si
p.56	Vestido de la Virgen (a la altura del niño Jesús)	Cu, Pb	Fe, Ca	Sr, Cl, Hg, K, Mn, Si
p.73	Follaje del fondo detrás de la Virgen	Pb, Cu, Ca	Fe	Sr, K, Mn, Hg, Cl, Si, Al
p.76	Vestido de la Virgen (a la altura del niño Jesús)	s	Fe, Ca	Sr, Cl, K, Hg, Mn, Si, Ti, Al
p.85	Túnica de la Virgen	Pb, Cu	Fe, Ca	Bi, Cl, Sr, Hg, K, Mn, Si
p.86	Túnica de la Virgen	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Bi, K, Sr, Mn, Cl, Ti, Al, Si
p.87	Túnica de la Virgen (bajo el cinturón)	Pb, Cu	Fe, Ca	Bi, Sr, Hg, Cl, Mn, K, Si, Al, Ti
p.89	Vestido de la Virgen (debajo de la mano)	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, Bi, K, Cl, Ni, Mn, Hg, Al
p.93	Vestido de la Virgen (manga)	Pb, Cu	Fe, Ca	Sr, Bi, Hg, Cl, Mn, K, Si, Ti
p.95	Vestido de la Virgen (debajo del brazo)	Cu, Pb	Fe, Ca	Sr, Zn, Mn, K, Cl, Hg, Ni, Si, Al

p.98	Paisaje detrás de la Virgen	Pb, Cu, Ca	Fe, Co, Bi	K, Sr, Ni, Cl, Hg, Mn, Al, Si
p.100	Paisaje detrás de la Virgen	Pb, Cu	Fe, Ca, Co, Bi, K	Sr, Ni, Cl, Mn, Hg, Si, Al
p.101	Paisaje detrás de la Virgen	Cu, Pb	Fe, Ca, Bi, Co	K, Sr, Ni, Cl, Hg, Mn, Si
p.113	Chaleco del Pastor con la oveja (hombro)	Pb	Fe, Ca	Sr, Hg, Cl, Mn, Cu, Si, K
p.117	Chaleco del Pastor con la oveja (estomago)	Pb, Fe	Ca	Sr, Mn, Hg, Cl, Cu, K, Si, Ti
p.119	Manga del Pastor con sombrero	Cu, Pb	Fe, Ca	Zn, Sr, Cl, Hg, Mn, K, Ti, Al, Si
p.129	Hombro del Pastor con sombrero	Cu, Pb	Fe, Ca	Sr, Bi, Zn, Mn, Hg, Cl, K, Ni, Si
p.132	Manga del Pastor con sombrero	Pb, Cu	Fe	Ca, Cl, Sr, Hg, Zn, K, Si, Ni, Al
p.138	Tunca del ángel en la nube	Cu, Pb	Fe	Ca, Zn, Sr, Cl, Mn, K, Hg, Si
p.139	Tunca del ángel en la nube	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, Hg, Cl, K, Mn, Si, Al

APÉNDICE 4: LA CIRCUNCISIÓN



Figura 80: Puntos analizados mediante la técnica de XRF, *La Circuncisión*. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 23: Orden de intensidad de los picos característicos de cada elemento en relación con el tubo de Molibdeno de XRF para La Circuncisión.

Puntos	Descripción	Intensidad Alta	Intensidad Media	Intensidad Baja
Amarillos				
p.93	Aureola Jesús	Pb	Ca	Sr, Fe, Sn, Cu, Hg, K Cl, Mn
p.94	Cabello Jesús	Pb, As, Fe	Ca, Hg	Sr, Cu, Mn, Cl, K, Si
p.97	Aureola Jesús	Pb, Cu	Hg	Ca, Fe, Sn, Sr, Cl, K Mn, Si
p.124	Brillo túnica personaje con candelabro	Pb, Ca		Sr, Fe, Sn, Cu, Cl, Hg, K
p.125	Túnica personaje con candelabro	Pb, Ca	Fe, Sr	Cu, K, Sn, Hg, Cl, P Si, Mn
p.146	Manga amarilla personaje del fondo lado izq.	Pb, Ca	As, Fe	Sr, Cu, Hg, Cl, K, Mn
p.147	Manga amarilla personaje del fondo lado izq.	Pb, Hg	Fe, Sr	Ca, Cu, Cl, Mn
p.172	Manto amarillo personaje del candelabro lado der	Pb, Ca	Bi, Fe	Sr, Cu, K, Hg, Cl, Mn, P, Si
p.200	Vela parte media	Pb, Fe		Sr, Cu, Ca, Cl, Hg, K, Si
p.204	Manto amarillo personaje del candelabro lado der	Pb, Ca		Sn, Fe, Sr, Hg, Cu, K, Cl, P, Si, Mn
p.224	Aureola Virgen	Pb	Sn, Fe, Ca	Hg, Sr, Cl, Cu, K, Mn, Si
p.230	Candelabro Techo	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Cu, Sn, Cl, K, P, Mn, Si
p.231	Brillo cortina del fondo	Pb, Fe	Ca	Sr, Cu, Cl, Hg, Sn, K, Si, Mn
p.236	Flama vela lado izq.	Pb, Hg	Sn, Ca	Fe, Sr, Cl, K, Cu, Si
p.254	Brillo gorro personaje de gorro naranja	Pb, Hg	Ca	Sn, Fe, Sr, Cu, Cl, K, Si
p.260	Manga amarilla personaje del fondo lado izq.	Pb, Ca	Fe, Sr	Cu, K, Cl, Hg, P, Mn
Azules				
p.40	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Co, Fe	K, Bi, Ni, Sr	Ca, Cl, Hg, Si, Mn
p.41	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Fe, Co	K, Bi, Ca	Ni, Sr, Si, Cl, Hg
p.44	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Co, Fe	K, Bi, Ni, Ca	Sr, Zn, Cl, Hg, Si
p.49	Sombra Capa del personaje del candelabro lado izq.	Cu, As, Co, Fe, Pb	K, Bi, Ca, Ni	Sr, Si, Cl, Ti
p.50	Sombra Capa del personaje del candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Co, Fe, K	Bi, Ni	Ca, Sr, Cl, Si, Ti
p.68	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Co, Pb, Fe, K	Bi, Ca	Ni, Sr, Zn, Hg, Si, Cl, Mn
p.69	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, Fe		Sr, Zn, Ca, K, Co, Mn, Cl, Ti, Hg
p.70	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Co., Fe, K		Bi, Ni, Ca, Sr, Zn, Cl, Hg, Mn, Si
p.71	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Co, Fe		K, Ca, Bi, Ni, Sr, Zn, Cl, Si, Hg, Ti

p.72	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Fe, Co, K		Ni, Bi, Ca, Sr, Zn, Si, Hg, Cl, Mn, Ti
p.73	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Fe, Co, K		Ca, Bi, Ni, Sr, Zn, Cl, Si
p.74	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Co, Fe, K	Bi	Ni, Ca, Sr, Zn, Cl, Si, Ti
p.75	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Co, Fe, K	Bi	Ni, Ca, Sr, Zn, Cl, Si, Mn, Ti
p.76	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Co, Fe, K	Bi	Ni, Ca, Sr, Zn, Cl, Si, Mn, Ti
p.77	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Co, Fe, Pb, K, Bi	Ni	Ca, Sr, Zn, Cl, Si, Mn, Ti
p.78	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Co, Fe, K	Bi	Ni, Ca, Sr, Zn, Cl, Si, Mn, Ti
p.79	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Co, Fe, K		Bi, Ni, Ca, Sr, Zn, Cl, Si
p.85	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Co, Fe, Sr	K	Bi, Ca, Ni, Cl, Zn, Si, Ti
p.116	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Co, Fe	K, Sr	Ni, Ca, Cl, Zn, Hg, Si, Ti
p.117	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, As, Pb, Fe, Co	K, Bi, Ni, Ca	Zn, Sr, Hg, Cl, Si, Ti
p.144	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Co, Fe	K, Bi, Ni	Ca, Sr, Zn, Cl, Hg, Si, Mn, Ti
p.145	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Fe, Co	K, Ca	Bi, Ni, Sr, Zn, Cl, Hg, Si, Ti, Mn
p.148	Túnica personaje de candelabro lado izq.	Cu, Pb, As, Fe, Co	K, Bi, Sr, Ni, Ca	Zn, Cl, Si, Ti, Mn
Blancos				
p.13	Brillo malla personaje candelabro izq.	Pb, Cu		Sr, Fe, Cl, Hg, Ca, K, Si
p.19	Brillo ropa San José	Pb	As	Sr, Cl, Fe, Hg, Ca, Cu, P, Si
p.38	Sabana niño Jesús	Pb		Sr, Fe, Hg, Cl, Ca, Cu, Si, K
p.53	Manga San José	Pb		Sr, Fe, Hg, Cu, Ca, Cl, Si
p.64	Brillo de la capa personaje der (Rabino)	Pb, Cu		Sr, Fe, Ca, Cl, Hg
p.102	Brillo de la capa personaje der (Rabino)	Pb	Cu	Sr, Ca, Fe, Cl, Hg, Si, Mn
p.121	Cabello personaje der (Rabino)	Pb		Hg, Sr, Fe, Cu, Ca, Cl, K, Si
p.122	Cabello Rabino	Pb		Ca, Fe, Hg, Cu, Cl, Si, K
p.130	Brillo uña personaje con candelabro der	Pb, Hg	Fe, Ca, Sr	Cu, Cl, Mn, K, P
p.149	Vela parte blanca	Pb		Fe, Hg, Sr, Cl, Cu, Ca
p.163	Detalle blanco de la silla del Rabino	Fe, Pb, Hg, Ca		Mn, Sr, Cu, K, Cl, Si
p.205	Cabello personaje de candelabro lado der	Pb, Fe	Hg, Ca, Mn	Sr, Cu, Cl, K, P, Si
p.219	Velo blanco de la virgen	Pb, Cu		Hg, Fe, Ca, Sr, Cl, Si
p.237	Vela parte blanca	Pb	Fe, Hg	Sr, Cu, Ca, Cl, K, Si
p.247	Barba personaje gorro verde del fondo	Pb	Sr, Ca, Fe	Cu, Hg, Cl, K, Si, P, Mn

Cafés				
p.1	Fondo esquina inferior izquierda	Pb	Fe, Ca, Sr	Cu, Hg, Cl, Mn, K
p.2	Fondo esquina inferior izquierda	Pb, Fe	Ca, Sr	Cu, Hg, Mn, Cl, K, Si
p.4	Correa sandalia personaje de candelabro izq.	Pb, As, Fe, Ca	Sr	Mn, Cu, Cl, K, Hg, Si
p.10	Correa sandalia personaje de candelabro izq.	Pb, As, Fe	Ca, Sr	Cu, Mn, Cl, Hg, K, Si
p.27	Adorno en la silla del Rabino	Fe, Ca, Pb, As	Mn	Sr, Cu, K, Hg, Cl, Si, P
p.37	Charola bajo al niño Jesús	Cu, Pb	Fe, Sr	Ca, Zn, Cl, Hg, Co, K, Si
p.39	Sombra túnica Rabino	Pb, Fe, Ca	Sr	Cu, K, Mn, Hg, Cl, Si, P
p.59	Mango del cuchillo	Pb, As, Fe	Hg, Ca, Sr	Cu, Cl, K, Mn
p.96	Cabello niño Jesús	Pb, Fe, Ca		Hg, Mn, Sr, Cu, Cl, K, Si
p.119	Fondo parte inferior	Pb	Fe, Sr	Ca, Cu, Hg, Cl, Mn, K, Si
p.132	Ropa personaje del candelabro lado der	Pb, Ca	Fe, Sr	Cu, Sn, K, Cl, Hg, Mn, P, Si
p.187	Cabello mujer del fondo	Pb, Fe	Hg, Ca	Sr, Mn, Cu, Cl, K, Si
p.189	Sombra del parpado de la mujer del fondo	Pb, Hg	Fe, Sr	Ca, Cu, Cl, Mn, K, Si
p.191	Cabello mujer del fondo	Pb, As, Fe	Ca, Hg	Sr, Cu, Cl, Mn, K, Si
p.193	Diadema mujer del fondo	Pb, As, Hg, Fe	Ca	Sr, Cu, Cl, K, Mn
p.194	Cortina del fondo	Pb, As, Fe, Ca	Cu	Sr, Cl, Hg, K, Mn, Si
p.203	Cortina del fondo	Ca, Pb	Fe	Sr, Cu, K, Hg, P, Cl, Sn, Mn, Si
p.208	Sombra capa del personaje con candelabro lado der	Pb, Fe	Hg, Ca, Sr	Cu, Mn, Cl, K, Si
p.209	Sombra parpado personaje con candelabro lado der	Pb, Fe, Ca	Sr	Cu, Mn, Hg, Cl, K, Si, P
p.210	Cabello personaje con candelabro lado der	Pb, Cu	Hg, Fe, Sr	Ca, Cl, Mn, Si, K, P
p.211	Sombrero mujer del fondo lado der	Pb, Fe, Ca	Hg, Sr	Cu, Mn, Cl, K, Si
p.213	Cabello mujer del fondo lado der	Pb, Fe	Ca, Cu, Sr	Hg, Mn, Cl, K, Si
p.238	Cabello personaje detrás de la mujer del fondo	Pb, Ca, Fe	Sr, Cu	Hg, Mn, K, Cl, Si
p.256	Cabello personaje del candelabro del lado izq.	Pb, Fe	Ca, Hg, Sr, Mn	Cu, Cl, K, P
Deterioros				
p.126	Brillo túnica personaje con candelabro der.	Pb, Ca	Sr	Fe, Cu, K, Cl, Hg, Sn, P, Mn
p.140	Sombra manto personaje a lado de la mujer del fondo	Cu, Pb	Fe, Ca, Sr	Hg, K, Zn, Cl, Ni, Mn
p.152	Manto personaje a alado de la mujer del fondo	Cu, Pb, Fe	Ca	Sr, Mn, K, Hg, Ni, Cl, Al
p.153	Manto personaje a alado de la mujer del fondo	Cu, Pb	Fe, Sr, Ca	Zn, K, Hg, Mn, Ni, Cl, Al
p.157	Mano mujer del fondo (mancha)	Pb	Hg, Fe, Sr, Ca	Cu, Cl, K, Mn, Si, Ti

p.159	Deterioro codo mujer del fondo	Fe, Pb, Ca	Sr	Mn, Cu, K, Cl, Hg, Si, Ti, P
p.177	Antebrazo personaje de candelabro parte der	Ca, Pb	Fe, Sr	Cu, K, Hg, Mn, Si, P, Cl, Zn, Ti
Dorados				
p.45	Brillo del candelabro lado izq.	Pb, As, Fe, Ca	Sr, Cu	K, Hg, Mn, Cl, Si
p.46	Mango del candelabro lado izq.	Pb, As	Sn, Fe, Ca	Cl, Cu, K, Hg, Sr, Si, Mn
p.81	Candelabro lado izq.	Pb, Fe, Ca		Cu, Sr, Mn, K, Hg, Cl, Si
p.82	Candelabro lado izq.	Pb, Fe		Ca, Sr, Sn, Cu, Cl, Hg, K, Si
p.127	Base candelabro lado izq.	Pb	Fe, Ca, Sn	Cu, Sr, K, Hg, Cl
p.128	Base del candelabro lado izq.	Pb, Fe	Ca	Sr, Cu, Hg, Sn, Cl, Mn, K
p.129	Base candelabro lado izq.	Pb, Fe	Ca	Sr, Cu, Cl, Sn, Hg, K, Mn
p.143	Candelabro lado der, base de la vela	Pb, Fe	Sr, Ca	Hg, Cu, Mn, Cl, K, Si
p.174	Mango del candelabro lado izq.	Pb, Fe, Ca	Bi	Sr, Cu, Mn, K, Hg, Cl, Si
p.175	Mango del candelabro lado izq.	Pb, Fe, Bi	Ca	Sr, Sn, Cu, Hg, Cl, K
p.201	Base del candelabro lado izq.	Pb, Fe, Ca	Sr	Cu, Cl, K, Hg, Mn, Si
p.228	Candelabro Techo	Pb, Hg, Fe		Cu, Sr, Ca, Cl, Mn
Encarnaciones				
p.3	Empeine del pie personaje del candelabro parte izq.	Pb, Hg, Fe	Sr	Ca, Cu, Cl, Mn, K, Si
p.5	Tobillo personaje del candelabro parte izq.	Pb, Fe	Ca	Cu, Sr, Mn, Cl, Hg, K, Si
p.9	Empeine del pie personaje del candelabro parte izq.	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cu, Cl, Zn, Mn, Si, K
p.11	Tobillo personaje del candelabro parte izq.	Pb, Fe		Hg, Cu, Sr, Ca, Cl, K, Mn, Si
p.22	Zapato San José	Pb, Fe	Ca, Sr	Cu, Mn, Hg, Cl, K, Si, P
p.24	Empeine del pie Rabino	Pb, As, Fe Sr	Ca	Cu, Mn, Hg, Cl, K, Si
p.25	Tobillo del Rabino	Pb, Fe	Ca, Sr	Cu, Mn, Cl, Hg, K, Si
p.47	Mano personaje del candelabro parte izq.	Pb, As, Hg	Fe	Ca, Sr, Cu, Cl, K, Si, Mn
p.54	Mano San José	Pb, Hg	Fe, Ca, Sr	Cu, Cl, K, Si
p.55	Espinilla niño Jesús	Pb, Hg		Fe, Sr, Cl, Ca, Cu, K, Si
p.56	Empeine de la mano del Rabino	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cu, Cl, Si, Mn, K
p.57	Estomago niño Jesús	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cu, Cl, Mn, K
p.104	Debajo de la oreja del Rabino	Pb		Hg, Fe, Sr, Ca, Cu, Cl, Zn, K
p.105	Cachete Rabino	Pb, As	Hg, Ca, Fe	Sr, Cu, Cl, K, Zn, Si, Mn
p.123	Oreja Rabino	Pb, Hg	Fe	Sr, Cu, Cl, Ca, K, Mn
p.133	Mano personaje del candelabro parte der	Pb	Fe, Hg, Ca, Sr	Cu, Cl, Mn, K, Si, P

p.134	Mano personaje del candelabro parte der	Pb, Fe, Ca	Hg	Cu, Sr, Mn, Cl, K, Si, P
p.150	Cuello personaje del candelabro parte izq.	Pb, Hg	Fe	Cu, Sr, Ca, Cl, Mn, K, Si
p.155	Mano mujer del fondo	Pb, Hg	Fe	Sr, Cu, Ca, Cl, Mn, K
p.176	Antebrazo personaje de candelabro parte der	Pb, Hg		Fe, Sr, Cu, Ca, Cl, Zn, K
p.179	Mano Virgen	Pb, Hg		Sr, Fe, Cu, Cl, Ca
p.185	Sombra cuello mujer del fondo	Pb, Fe	Hg, Ca, Sr	Cu, Mn, Cl, K, Si
p.186	Cuello mujer del fondo	Pb, Hg	Fe, Sr	Ca, Cu, Cl, Mn, Si, K
p.190	Frente mujer del fondo	Pb, Hg		Fe, Sr, Cu, Cl, Ca, Mn, K
p.199	Mejilla personaje del fondo	Pb, As, Hg, Fe	Ca, Sr	Cu, Mn, Cl, K
p.206	Mejilla personaje de candelabro parte der	Pb, Hg, Fe	Ca, Sr	Cu, Cl, Mn, K, Si
p.207	Mejilla personaje de candelabro parte der	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cu, Cl, Mn, P, K, Si
p.212	Mejilla mujer del fondo lado der	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cu, Cl, Mn, K, Si
p.216	Labios de la Virgen	Pb, Hg	Sr, Fe	Cu, Ca, Cl, P, Mn, K
p.218	Mejilla Virgen	Pb, Hg	Fe	Cu, Sr, Ca, Cl, Mn, Si, K
p.239	Frente personaje a lado de la mujer del fondo	Pb, Hg, Fe	Sr, Ca	Cu, Cl, Mn, K, Si
p.246	Frente personaje de gorro verde	Pb, Hg, Fe		Sr, Ca, Cu, Cl, Mn, P, Si, K
p.250	Frente personaje calvo del fondo	Pb, Hg, Fe	Sr	Ca, Cu, Cl, Mn, K, Zn
p.252	Sombra cuello personaje del candelabro lado izq.	Pb, Hg, Fe	Ca, Cu, Sr	K, Mn, Cl, Zn, Si, P
p.257	Frente personaje del candelabro lado izq.	Pb, Hg		Fe, Sr, Cl, Cu, Ca, P, K, Mn
p.258	Mejilla personaje del candelabro lado izq.	Pb, Hg	Fe	Sr, Cu, Cl, Ca, K, P
p.259	Nariz personaje del candelabro lado izq.	Pb, Hg	Fe, Sr, Ca	Cu, Cl, Mn, K, P
Gris				
p.18	Sombra gris túnica de San José	Pb, As		Sr, Fe, Ca, Cu, Hg, Cl, K, Zn, Si, Mn
p.58	Hoja del cuchillo	Pb	Fe, Sr	Hg, Ca, Cu, Cl, K, Mn
p.86	Manto personaje a alado de la mujer del fondo	Cu, Pb, Fe		As, Ca, Sr, Mn, Cl, K
p.88	Velo San José	Cu, Pb	Fe	Hg, Sr, Ca, Cl, K
p.89	Velo San José	Pb, Cu		Hg, Fe, Sr, Cl, Ca
p.92	Sombra barba San José	Pb		Ca, Fe, Sr, Cu, Hg, Cl, K, Mn, Si
p.136	Túnica Rabino	Pb, Cu	Hg	Fe, Sr, Ca, Cl, Zn, K, Mn
p.138	Ceja San José	Pb, Ca, Fe	Sr	Hg, Cu, Mn, Cl, K, Si
p.151	Sombra cuello personaje de candelabro lado izq.	Pb, Fe	Hg, Ca, Sr	Cu, Cl, Mn, K, Si
p.198	Barba personaje de sombrero del fondo	Pb	Ca, Fe	Hg, Sr, Cu, Cl, Mn, K

p.217	Sombra gris túnica velo de la virgen	Pb, Cu	Fe	Hg, Sr, Ca, Cl, Mn, K
p.232	Columna a lado de la cortina	Pb	Fe	Sr, Hg, Cu, Cl, Ca, Si
p.233	Columna a lado de la cortina	Pb	Fe	Sr, Cu, Hg, Cl, Ca, Si
p.245	Fondo lado izq.	Pb	Fe	Sr, Cu, Cl, Ca, Hg, Si
p.251	Barba personaje detrás de la vela lado izq.	Pb, Fe, Cu	Ca, Sr	Hg, Cl, Mn, K, Si
Negro				
p.16	Sombra manto personaje del candelabro lado izq.	Pb, As	Fe, Ca	Sr, Cu, Hg, Cl, K, Mn, Si, Co
p.17	Borde manto San José	Cu, Pb, Ca	Fe	Sr, Zn, K, Hg, Cl, Co, Mn, Si
p.20	Borde manto San José	Cu, Pb, Fe, Ca	As	Sr, K, Zn, Co, Hg, Cl, Mn, Si
p.52	Borde manto San José	Cu, Pb, Ca, Fe	Sr	Zn, Cl, K, Hg, Mn, Si
p.87	Sombra manto San José (hombro)	Cu, Pb, Fe		Ca, Sr, K, Ni, Mn, Cl
p.90	Sombra cuello San José	Cu, Pb, Fe		Zn, Sr, Ni, Ca, K, Cl, Hg
p.91	Sombra barba San José	Cu, Pb	Fe	Ca, Sr, Hg, Zn, Cl, Ni, Mn, Si, K
p.95	Pupila niño Jesús	Pb, Fe	Hg, Ca	Sr, Cu, Cl, Mn, K, Si
p.103	Túnica Virgen María	Cu, Pb, Fe		Ca, Zn, Sr, K, Hg, Cl, Mn
p.107	Sombra manto rabino	Pb	Fe, Ca, Sr	K, Cu, Hg, Cl, Mn, Si, Zn
p.118	Fondo parte inferior	Pb	Fe, Ca, Sr	Cu, Cl, Hg, K, Mn
p.120	Túnica Virgen María	Cu, Fe, Pb	Zn	Sr, Ca, Ni, Co, K, Cl
p.135	Sombra manto San José (frente)	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Sr, K, Mn, Hg
p.137	Ceja San José	Pb, Fe, Ca, Hg	Sr	Mn, Cu, K, Cl, Zn, Si
p.160	Fondo a lado de la silla del Rabino	Pb	Fe, Sr	Ca, Cl, Cu, Hg, Mn, K
p.166	Túnica Virgen María	Cu, Pb, Fe	Zn	Ca, Sr, Ni, K, Cl
p.168	Túnica Virgen María	Cu, Pb, Fe	Zn	Ca, Sr, Co, K, Cl, Mn, Hg, Si
p.171	Ropa personaje de sombrero del fondo	Cu, Pb, Fe		Zn, Ca, Bi, Sr, K, Hg, Co, Mn, Cl
p.184	Ropa mujer del fondo	Pb, Cu	Ca, Fe	Sr, Cl, Hg, K, Mn
p.196	Sombrero personaje de sombrero del fondo	Cu, Pb, Fe	Zn	Ca, Sr, Co, K, Mn, Hg, Cl, Si
p.197	Ropa personaje de sombrero del fondo	Cu, Pb, As, Fe	Zn	Sr, Ca, Ni, Co, Mn, K, Cl
p.215	Túnica Virgen María	Cu, Pb, Fe		Zn, Sr, Ca, Ni, Mn, K, Cl
p.220	Túnica Virgen María	Cu, Pb, Fe		Ca, Sr, K, Cl
p.221	Túnica Virgen María	Cu, Pb	Fe	Sr, Ca, Cl, Hg, K
p.222	Túnica Virgen María	Cu, Pb	Fe	Ca, Zn, Sr, Ni, Cl, Co, Hg, K, Si
p.223	Fondo detrás de la Virgen	Pb, Fe		Sr, Ca, Cu, Cl, Hg, Mn, Si, K

p.225	Fondo arriba de la Virgen	Pb	Fe, Sr	Ca, Cu, Cl, Hg, Mn, K, Si
p.227	Fondo del lado der de la cortina	Pb	Fe	Sr, Cu, Hg, Cl, Ca, Mn, K, Si
p.229	Fondo cerca candelabro	Pb	Fe	Sr, Cu, Cl, Ca, Hg, Mn, K, Si
p.234 (negro)	Fondo cerca arco.	Pb	Fe, Sr	Cu, Ca, Hg, Cl, Mn, Si
p.241 (negro)	Fondo cerca vela lado izq.	Pb	Fe	Cu, Sr, Hg, Ca, Cl, K, Mn, Si
p.244	Zona oscura entrada izq.	Pb	Fe	Sr, Cu, Cl, Hg, Ca, Mn, Si, K
p.248	Barba personaje del sombrero verde	Cu, Pb, Ca	Fe	Sr, Zn, K, Hg, Cl, Ni, Mn
p.249	Hombro personaje del fondo detrás de la vela lado izq.	Cu, Pb, Fe	Ca	Sr, Zn, K, Ni, Mn, Hg, Cl
p.253 (negro)	Sombra detrás de la oreja personaje del candelabro lado izq.	Pb, Fe, Hg	Ca, Sr	Cu, K, Mn, Cl, Zn, Si
Ocre				
p.14	Manto San José	Pb, Fe, Ca	Sr	Mn, Cu, K, Hg, Cl, P, Si, Ti
p.15	Manto San José	Pb, Fe, As	Ca	Sr, Cu, Mn, Cl, Hg, K, Si
p.21	Manto San José	Pb, Fe	Ca, Sr	Cu, Cl, Hg, Mn, K, P, Si
p.36	Manto San José	Pb	Sn, Ca	Fe, K, Hg, Cl, Cu, Sr, Si
p.51	Manto San José	Pb, Fe, Ca	Sr	Cu, Mn, K, Hg, Cl, Si
p.60	Manto San José	Pb, Fe	Ca, Sr	Cu, Cl, Hg, Mn, K, Si
p.98	Manto San José	Pb, Fe		Ca, Sn, Sr, Cu, Hg, Cl, K, Mn
p.111	Manto San José	Pb, Fe, Ca	Sr	Cu, K, Hg, Mn, Cl, Si, P, Ti
p.112	Manto San José	Ca, Fe, Pb	Sr	Mn, Cu, K, Hg, Cl, Si, P, Ti
p.113	Manto San José	Pb, Fe, Ca	Sr	Cu, K, Cl, Hg, Mn, Si, P
p.114	Manto San José	Fe, Pb, Ca	Sr	Cu, Mn, K, Hg, Cl, P, Si, Ti
p.115	Manto San José	Pb, Fe, Ca	Sr	Cu, Hg, Cl, K, Mn, Si, P, Ti
Rojo				
p.6		Pb	Cu, Ca, Fe, Sr	Hg, Cl, K, Si, Ti
p.26	Listo de las medias del personaje con candelabro lado izq.	Pb, Ca	Fe, Sr	Cu, K, Hg, Mn, Cl, Si, Ti
p.28	Sombra túnica Rabino	Pb	Sr, Fe, Ca	K, Cu, Cl, Hg, Si, Ti
p.29	Sombra túnica Rabino	Pb	Fe, Ca	Sr, Cu, K, Cl, Hg, Si, Ti
p.32	Sombra túnica Rabino	Pb	Fe	Ca, Sr, Cu, K, Hg, Cl, Si, Ti
p.33	Sombra túnica Rabino	Pb	Ca, Fe, Sr, Cu	K, Hg, Cl, Ti, Si
p.48	Manto San José	Pb		Fe, Sr, Ca, Cu, Hg, Cl, K, Si

p.62	Manga del personaje con candelabro lado izq.	Pb	Fe, Ca, Sr	K, Cu, Hg, Cl, Ti, Mn, Si
p.63	Túnica Rabino	Pb	Fe	Ca, Cu, Sr, Cl, K, Hg
p.80	Túnica Rabino	Pb		Fe, Ca, Sr, Cu, Cl, Hg, K
p.83	Manga del personaje con candelabro lado izq.	Pb		Fe, Sr, Ca, Cu, Hg, Cl, Si
p.84	Manga del personaje con candelabro lado izq.	Pb, As	Ca	Fe, Sr, Cu, Cl, Hg, K, Si, Mn
p.99	Manga del personaje con candelabro lado izq.	Pb, Cu	Hg	Sr, Cl, Fe, Ca, Si, K
p.100	Velo San José	Pb	Ca	Cu, Fe, Sr, K, Hg, Cl, Mn
p.106	Cuello tinca Rabino	Pb	Fe	Ca, Sr, Cu, K, Hg, Cl, Mn, Ti, Zn, Si
p.108	Sombra túnica Rabino	Pb		Fe, Ca, Sr, Hg, Cu, Cl, K
p.109	Sombra túnica Rabino	Pb	Ca, Fe	Sr, K, Cu, Hg, Cl, Mn, Ti
p.110	Sombra túnica Rabino	Pb		Fe, Sr, Ca, K, Cu, Hg, Cl, Mn, Ti
p.141	Sombra túnica Rabino	Pb	Ca, Fe	Cu, Sr, Hg, Cl, K, Si, Mn, Zn
p.142	Cuello de la camisa del personaje con candelabro lado izq.	Pb	Fe	Ca, Sr, Cu, Hg, Cl, K Si, Mn, Ti
p.156	Cuello de la camisa del personaje con candelabro lado izq.	Pb, Cu	Fe, Ca, Sr	Cl, Hg, K, Mn, Ti, Si
p.158	Ropa mujer del fondo	Pb, Cu	Fe	Sr, Ca, Hg, Cl, K, Mn, Si, Ti
p.161	Ropa mujer del fondo	Pb	Sr, Fe	Ca, K, Cu, Hg, Cl
p.162	Sombra túnica Rabino	Pb, Fe	Ca	Sr, K, Cu, Hg, Mn, Cl, Ti, Si
p.164	Sombra túnica Rabino	Pb	Fe, Ca, Sr	K, Cu, Hg, Cl, Si, Mn
p.165	Sombra túnica Rabino	Pb	Ca, Fe	Sr, K, Cu, Hg, Cl, Si
p.169	Sombra túnica Rabino	Pb, Cu	Bi, Fe, Ca	Sr, Hg, Cl, K, Si
p.170	Ropa mujer del fondo	Pb, Ca	Cu, Fe, Sr, Bi	K, Hg, Cl, Mn, Ti, Si
p.182	Ropa mujer del fondo	Pb, Cu	Fe	Sr, Ca, Cl, Zn, Hg, K, Si
p.183	Ropa mujer del fondo	Pb, Cu	Fe, Ca	Sr, Cl, Hg, K, Si
p.188	Ropa mujer del fondo	Pb, As, Hg, Fe	Ca	Sr, Cu, Cl, Mn, K, Si
p.192	Labio mujer del fondo	Pb, As, Fe	Ca, Hg	Sr, Cu, Cl, Mn, K, Si, Ti
p.226	Diadema mujer del fondo	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cu, Cl, Sn, K, Si, Mn
p.235	Llama vela der	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Sn, Cu, Cl, K, Si, Mn
p.255	Sombrero del personaje con sombrero verde	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cu, Cl, K, Si
Verde				
p.7	Correa mallas personaje del candelabro lado izq.	Cu, Pb	Fe	Sr, Ca, Cl, Co, Hg, K, Si
p.8	Correa mallas personaje del candelabro lado izq.	Cu, Pb	Fe	Sr, Ca, Zn, Cl, Hg, Co, K Mn, Si, Al

p.12	Correa mallas personaje del candelabro lado izq.	Cu, Pb	Fe, Ca, Sr	Zn, K, Cl, Hg, Si, Mn
p.23	Túnica Rabino	Cu, Pb	Fe, Ca	Sr, Zn, Cl, K, Hg, Mn, Al
p.30	Manga túnica Rabino	Pb, Cu	Fe	Sr, Ca, Cl, Hg, K, Si
p.31	Manga túnica Rabino	Cu, Pb	Fe, Sr, Ca	Zn, Cl, Hg, K
p.34	Rodilla Rabino	Cu, Pb	Fe, Ca, Sr	Zn, Cl, Hg, K, Si
p.42	Mallas personaje del candelabro lado izq.	Pb, Cu		Hg, Cl, Bi, Ca, Sr, Fe, K Si
p.43	Mallas personaje del candelabro lado izq.	Pb, Cu	Fe	Sr, Ca, Cl, Hg, K
p.61	Sombra capa del Rabino	Cu, Pb, Ca, Fe		Sr, Zn, K, Co, Mn, Cl, Al
p.65	Túnica Rabino	Cu, Pb, Ca, Fe	Sr	Zn, Cl, K, Hg
p.66	Túnica Rabino	Cu, Pb, Ca, Fe		Sr, Zn, K, Cl
p.67	Túnica Rabino	Pb, Cu		Fe, Sr, Ca, Cl, Hg, K, Si
p.101	Túnica Rabino	Cu, Pb, Ca	Fe	Sr, Zn, Cl, Hg, K
p.131	Ropa personaje del candelabro lado der	Cu, Pb	Fe, Ca	Sr, Zn, K, Cl, Hg, Mn
p.139	Manto personaje a alado de la mujer del fondo	Pb, Cu	Ca, Sr	Fe, Zn, K, Hg, Cl
p.154	Manto personaje a alado de la mujer del fondo	Cu, Pb		Ca, Fe, Sr, Hg, K, Ni, Cl, Al
p.167	Túnica Rabino	Cu, Pb	Ca, Fe	Sr, Cl, Zn, Hg, K, Co, Si
p.173	Ropa personaje del candelabro lado der	Cu, Pb	Fe, Bi	Sr, Ca, Zn, Hg, Ni, Cl, K, Mn
p.178	Ropa personaje del candelabro lado der	Cu, Pb	Fe	Zn, Ca, Cl, Sr, Hg, K, Si
p.180	Manga ropa mujer del fondo	Cu, Pb	Fe, Sr	Ca, Cl, Zn, Hg, K, Mn
p.181	Manga ropa mujer del fondo	Cu, Pb	Fe	Sr, Ca, Zn, Cl, Hg, Co, K
p.202	Ropa personaje del candelabro lado der	Cu, Pb	Fe, Sr	Ca, Zn, Cl, K, Mn, Si, Al
p.214	Vestido mujer del fondo lado der	Pb, Cu	Fe, Hg	Ca, Sr, Cl, Zn, Mn, K, Si
p.240	Manto personaje a alado de la mujer del fondo	Cu, Pb	Fe	Ca, Sr, Hg, K, Cl, Mn
p.242	Fondo detrás de la vela	Pb, Cu	Ca, Fe	Sn, Sr, Zn, Cl, Hg, K Si
p.243	Gorro personaje del gorro verde	Cu, Pb, Ca, Fe	Sr	Zn, K, Co, Mn, Cl, Hg, Al

APÉNDICE 5: LA RESURRECCIÓN

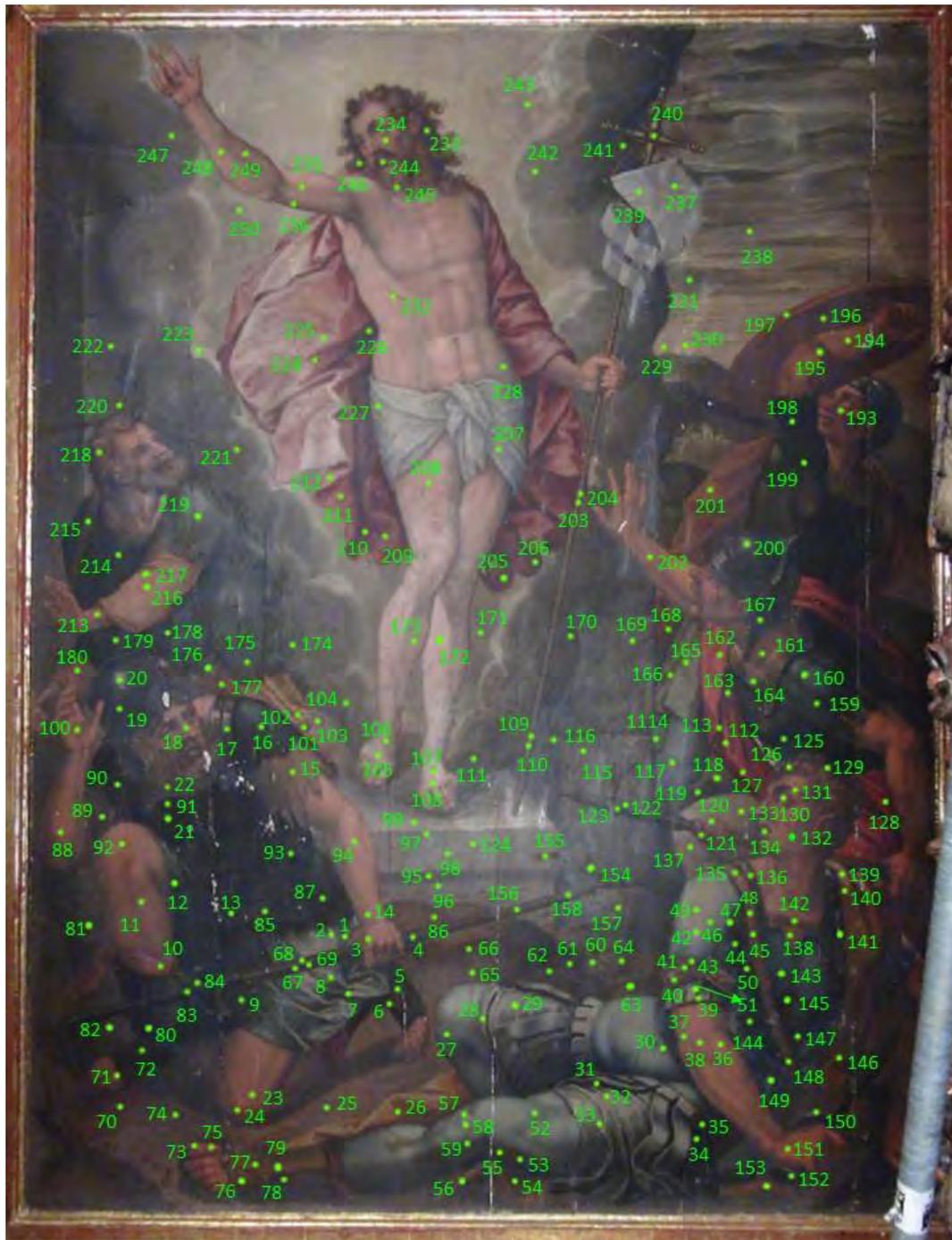


Figura 81: Puntos analizados mediante la técnica de XRF, *La Resurrección*. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM.

Tabla 24: Orden de intensidad de los picos característicos de cada elemento en relación con el tubo de Molibdeno de XRF para La Resurrección.

Putos	Descripción	Intensidad Alta	Intensidad Media	Intensidad Baja
Amarillos				
p.15	Manga del soldado arrodillado	Pb, Fe		Ca, Hg, Sr, Mn, Cl, Cu, K, Si
p.25	Suelo	Pb	Ca, Fe	Hg, Sr, Cl, Cu, Mn
p.26	Túnica del soldado recostado	Pb		Sn, Ca, Fe, K, Cu, Cl, Hg
p.41	Brazaletes soldado recostado	Pb, Cu		Fe, Ca, Sr, Cl, Hg, K
p.42	Brazaletes soldado recostado	Pb, Fe	Ca	Sn, K, Cl, Cu, Sr, Hg
p.102	Ropa del soldado de pie (lado izq.)	Pb, Ca		Fe, Cu, Sr, Cl, K, Hg, Mn
p.103	Ropa del soldado de pie (lado izq.)	Pb	Fe	Co, K, Ca, Cl, Sr, Cu, Ni, Sn, Hg, Si
p.109	Brillo del bastón de Jesús	Pb, Fe	Ca	Sn, Cl, Sr, K, Hg, Mn, Cu
p.120	Borla de la lanza del soldado de pie lado izq.	Pb		Fe, Ca, Hg, Sr, Cl, Cu, K, Si
p.133	Rodilla soldado de casco	Pb	Fe	Ca, Sr, Cl, Hg, Cu, K, Mn, Si
p.137	Medallón soldado de casco	Pb, Fe		Ca, Sr, Hg, Cl, Cu, Sn, K Mn, Si
p.138	Adorno de león soldado recostado	Pb, Fe	Ca	Hg, Sr, Cu, Cl, Mn, K, Si
p.139	Brillo amarillo capa soldado recostado	Pb	Fe, Sn, Ca	K, Cl, Cu, Hg, Sr, Si
p.140	Sombra amarilla capa del soldado recostado	Pb, Fe, Ca		Sr, Hg, Cu, Cl, K, Si
p.160	Luz de la armadura soldado de casco	Pb	Fe, Ca, Sn	Hg, K, Cl, Cu, Sr, Mn, Si
p.164	Decoración del cuello soldado de casco	Pb, Fe, Cu	Ca	Hg, Mn, Sr, Cl, K, Si
p.177	Sombra amarilla túnica soldado de pie lado izq.	Pb, Ca, Fe		Sr, Cu, Hg, K, Mn, Cl, Si
p.180	Sombra amarilla túnica soldado de pie lado izq.	Pb, Ca, Fe		Sr, Mn, Cu, K, Hg, Cl
p.204	Dorado del bastón de Jesús	Pb, Fe	Ca	Sn, Sr, Cl, K, Hg, Cu, Mn, Si
p.229	Fondo amarillo detrás de la nube	Pb	Ca	Fe, K, Sr, Sn, Hg, Cl, Cu, Si
Azules				
p.27	Media soldado recostado, pierna derecha	Pb, Cu	Fe	Ca, Sr, Cl, Hg, K, Si
p.29	Muslo der soldado recostado	Pb, Cu		Ca, Fe, Sr, K, Cl, Hg, Si
p.30	Pantalón soldado arrodillado	Pb, Cu	Fe	Ca, Co, K, Cl, Sr, Hg, Si
p.47	Hombro der soldado recostado	Pb, Cu		Fe, Ca, Co, K Cl, Sr, Si
p.57	Rodilla izq. soldado recostado	Pb, Cu		Fe, Sr, Ca, Cl, Hg, K
p.58	Rodilla izq. soldado recostado	Pb, Cu		Fe, Ca, Sr, Cl, Hg, Co
p.59	Rodilla izq. soldado recostado	Pb, Cu		Fe, Ca, Sr, Cl, Hg, Co
Blancos				
p.2	Brillo falda soldado arrodillado	Pb, Cu	Hg	Ca, Fe, Cl, Sr, K
p.7	Brillo falda soldado arrodillado	Pb, Cu		Hg, Fe, Cl, Ca, Sr, K
p.20	Brillo casco soldado arrodillado	Pb		Fe, Ca, Hg, Cl, Co, Cu, Sr, K
p.28	Brillo pantalón soldado recostado	Pb, Cu	Co, Fe	K, Ca, Cl, Ni, Sr, Hg, Si
p.32	Brillo pantalón soldado recostado	Pb	Cu	Ca, Fe, K, Cl, Sr, Co. Si
p.33	Brillo pantalón soldado recostado	Pb	Cu	Ca, Fe, Sr, Cl, K, Si
p.73	Uña soldado recostado	Pb	Fe	Hg, Ca, Sr, Cu, Cl, K
p.122	Brillo de la lanza soldado de casco	Pb	Cu, Fe	Ca, Hg, K, Co, Cl, Sr, K, Si
p.130	Brillo del ojo soldado recostado	Ca, Pb	Fe	Sr, Hg, Mn, K, Cu, Cl
p.134	Diente soldado recostado	Pb, Fe	Ca, Hg	Sr, Mn, Cu, Cl, K, Si
p.199	Brillo silla soldado de escudo	Cu, Pb, Ca		Fe, Sr, K, Cl, Si
p.200	Brillo casco soldado de casco	Pb		Fe, Ca, K, Cl, Co, Sr, Cu, Si

p.207	Taparrabos Jesús	Pb		Ca, Fe, Cl, Sr, Hg, Cu, K, Mn
p.223	Blanco de nube	Pb		Ca, Fe, Cl, Sr, K, Hg, Cu, Co
p.227	Taparrabos Jesús	Pb		Fe, Cl, Hg, Ca, Sr, Cu, Si, K
p.237	Blanco esquina derecha estandarte Jesús	Pb	K	Fe, Ca, Co, Cl, Sr, Cu, Ni, Si
p.239	Banco esquina izq. estandarte de Jesús	Pb		Fe, Hg, Ca, Cl, Sr, Cu, K, Mn
Cafés				
p.4	Lanza soldado arrodillado	Pb, Fe	Ca	Hg, Sr, Mn, Cu, Cl, K
p.5	Sandalia Soldado arrodillado	Pb, As, Co, Fe, K	Bi, Cu, Ca, Ni	Sr, Hg, Cl, Ti, Si
p.43	Brazaletes soldado recostado	Pb, Fe	Ca, Mn	Cu, Sr, Hg, Cl, Co, K, Si
p.44	Brazaletes soldado recostado	Pb, Fe	Ca	Cu, Mn, Sr, Hg, K, Cl, Co, Si, Ni
p.45	Brazaletes soldado recostado	Pb, Fe	Ca	Sr, Hg, Cu, Cl, Mn, K, Ti
p.54	Suelo debajo de la pierna soldado recostado	Pb, Fe, Ca		Sr, Cu, Mn, K, Cl, Si, Ti
p.56	Túnica del soldado recostado	Pb, Fe	Ca	Sn, Sr, Hg, Cl, Cu, K
p.60	Suelo a lado de pierna derecha soldado recostado	Pb, Ca, Fe		Sr, Cu, Hg, Cl, K, Mn, Co, Ti
p.61	Suelo a lado de pierna derecha soldado recostado	Pb, Ca, Fe		Sr, Hg, Cu, Cl, K, Co, Mn, Si, Ti
p.62	Suelo a lado de pierna derecha soldado recostado	Pb, Ca	Fe	Sr, Hg, Cu, Cl, K, Mn, Si, Ti
p.64	Suelo a lado de pierna derecha soldado recostado	Pb, Cu, Ca	Fe	Sr, K, Cl, Co
p.65	Suelo a lado de pierna derecha soldado recostado	Pb	Ca, Fe	Sr, Hg, Cl, Cu, K, Mn, Si
p.66	Suelo a lado de pierna derecha soldado recostado	Pb	Ca, Fe	Sr, K, Hg, Cl, Cu, Si, Mn, Ti
p.68	Café de lanza soldado arrodillado	Pb, Fe	Ca, Hg	Mn, Sr, Cl, K, Ti
p.69	Café de lanza soldado arrodillado	Pb, Fe	Hg	Cu, Ca, Sr, Mn, Cl, Si, K
p.70	Suelo debajo del pie soldado arrodillado	Pb	Fe, Ca	Hg, Sr, Cu, Cl, Mn, K
p.74	Suelo debajo del pie soldado arrodillado	Pb	Ca, Fe	Hg, Sr, Cl, Cu, K, Mn, Si
p.76	Sandalia Soldado recostado	Pb, Fe	Hg	Ca, Mn, Sr, Cl, Cu, Si
p.77	Adorno sandalia Soldado recostado	Pb, Fe		Hg, Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, Si
p.78	Tobillo sandalia Soldado recostado	Pb, Fe, Ca	Mn	Sr, Hg, Cu, Cl, K
p.79	Correa sandalia soldado arrodillado	Pb, Fe		Ca, Sr, Hg, Cl, Cu, Mn, K
p.82	Fondo debajo de lanza soldado arrodillado	Pb	Fe, Ca	Hg, Sr, Cl, Cu, Mn, K
p.86	Fondo arriba de lanza soldado arrodillado	Pb, Ca	Fe	Sr, K, Cl, Cu, Hg, Mn
p.89	Manga derecha del soldado arrodillado	Pb, Fe		Ca, Hg, Sr, Mn, Cl, Cu, Ti
p.101	Ropa del soldado de pie (izq.)	Pb, Ca	Fe	Sr, Cu, Cl, K, Mn, Hg, Si
p.110	Parte inferior del porta estandarte Jesús	Pb, Fe	Ca, Mn	K, Cu, Sr, Cl, Hg, Ti
p.115	Columna a lado del estandarte Jesús	Pb, Fe	Ca	Sr, Cl, Co, K, Cu, Si
p.119	Fondo entre soldado recostado y soldado casco	Cu, Pb, Ca, Fe		Co, K, Sr, Cl, Hg, Ni
p.126	Cabello soldado recostado	Pb, Fe	Hg, Ca	Mn, Sr, Cu, Cl, K, Si
p.129	Cabello soldado recostado	Pb, Fe	Hg, Mn, Ca	Sr, Cu, Cl, K, Si,, Ti

p.135	Correa soldado recostado (hombro)	Pb, Fe	Hg	Ca, Cl, Sr, Mn, Sn, Cu, Si, K, Ti
p.141	Correa soldado recostado (hombro)	Pb, Fe	Ca, Cu	Hg, Sr, Cl, K, Mn, Si
p.142	Adorno del león soldado recostado	Pb, Fe, Cu	Mn, Ca	Hg, Sr, Cl, K, Si
p.146	Capa del soldado recostado (a la altura de la cintura)	Pb, Fe, Ca		As, Sr, Cu, K, Cl, Mn, Ti, Si
p.148	Correa del soldado recostado	Pb, Fe	Ca, Hg	Sr, Cu, Mn, Cl, K, Si, Ti
p.152	Suelo debajo de mano de soldado recostado	Pb	Cu, Fe, Ca	Hg, Sr, Cl, K, Mn, Si
p.154	Café columna	Pb, Fe	Ca	Hg, K, Cl, Sr, Co, Cu, Si
p.156	Lanza de soldado arrodillado	Pb, Fe	Hg	Ca, Sr, Mn, Cu, Cl, K, Co, Si, Ti
p.158	Lanza de soldado arrodillado	Pb, Fe	Ca, Mn	Sr, Hg, Cu, Cl, K, Si
p.168	Manto soldado del escudo	Pb, Fe, Ca		Sr, Mn, Cu, K, Hg, Cl, Si
p.193	Sombra mejilla soldado de escudo	Pb, Fe	Hg	Ca, Sr, Cu, Mn, Cl, K
p.195	Correa escudo	Pb, Fe	Hg	Mn, Sr, Ca, Cu, Cl, K
p.196	Escudo parte oscura	Pb, Fe	Ca	Mn, Cu, Hg, Sr, Cl, K, Si
p.197	Escudo parte clara	Pb, Fe	Hg, Sr	Mn, Ca, Cu, Cl, K, Si
p.201	Manto amarillo soldado de escudo	Pb, Fe	Ca	Cl, Sn, Sr, Cu, K, Si
p.203	Porta estandarte de Jesús parte media	Pb, Fe	Mn, Ca	Sr, Hg, Cu, K, Cl, Si
p.215	Lanza soldado de pie	Pb, Cu, Fe	Ca, Mn	Sr, Hg, Cl, K, Si, Ti
p.218	Cabello soldado de pie	Pb, Fe	Hg	Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, K
p.220	Lanza soldado de pie	Pb, Fe	Mn	Ca, Sr, Cl, Cu, Hg, K, Si
p.230	Fondo café a lado de la nube	Pb, Fe	Co	K, Ca, Cu, Hg, Sr, Cl, Ni, Si
p.233	Cabello Jesús	Pb, Fe, Hg	Ca, Mn	Sr, Cu, Cl, K, Si
p.245	Cuello Jesús	Pb, Fe	Hg, Ca, Sr	Cu, Cl, Mn, K, Si
p.246	Cuello Jesús	Pb, Fe	Hg, Ca, Sr	Mn, Cu, Cl, K, Si
p.240	Cuerda del estandarte	Pb, Hg	Fe	Sn, Ca, Sr, K, Cl, Cu, Mn
Encarnaciones				
p.3	mano soldado arrodillado	Pb, Hg	Fe	Sr, Cl, Ca, Cu
p.11	pierna soldado arrodillado	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Cl, Mn, Cu
p.23	muslo soldado arrodillado	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cl, Cu, Mn
p.24	muslo soldado arrodillado	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cl, Cu, Mn
p.36	codo soldado recostado	Pb, Hg	Fe	Ca, Cl, Sr, Cu, Mn, K
p.37	codo soldado recostado	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cl, Cu, Mn, K
p.38	codo soldado recostado	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cl, Cu, Mn
p.71	Pie soldado arrodillado	Pb, Hg, Fe		Sr, Ca, Mn, Cu, Cl, K
p.75	Pie soldado recostado	Pb, Hg	Fe	Sr, Cl, Ca, Cu, Si
p.88	Antebrazo der soldado arrodillado	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cl, Cu
p.92	Rodilla soldado arrodillado	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cl, Cu
p.94	Antebrazo izq. soldado arrodillado	Pb, Hg	Fe	Ca, Cl, Sr, Cu, Si, K
p.100	Palma mano der soldado arrodillado	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, K
p.105	Empeine pie derecho Jesús	Pb, Hg		Fe, Cl, Sr, Ca, Cu
p.108	Empeine pie izquierdo Jesús	Pb, Hg		Fe, Sr, Ca, Cl, Cu, K
p.151	Muñeca mano izq. soldado recostado	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Cl, Cu, Mn, Si, K
p.161	Cuello soldado de casco	Pb, Fe, Hg	Ca, Sr	Mn, Cl, Cu, K, Si
p.172	Espinilla izq. Jesús	Pb, Hg		Fe, Cl, Ca, Cu, Sr, Mn
p.173	Espinilla der Jesús	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, K
p.194	Antebrazo soldado de escudo	Pb, Fe, Hg		Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, K
p.202	Brazo soldado de casco	Pb, Hg, Fe		Sr, Ca, Cu, Cl, Mn, K, Si
p.208	Muslo derecho de Jesús	Pb, Hg		Fe, Ca, Cl, Sr, Cu
p.213	Muñeca soldado de pie lado izq.	Pb, Hg, Fe		Sr, Ca, Cl, Cu, Mn, K
p.228	Encarnación cadera de Jesús	Pb, Hg	Fe	Sr, Cu, Ca, Cl, Mn, K

p.234	Mejilla izq. Jesús	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cl, Cu
p.235	Brazo der Jesús	Pb, Hg		Fe, Sr, Cl, Ca, Cu
p.236	Brazo der Jesús	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cl, Cu, Mn, Si
p.248	Antebrazo Jesús	Pb, Hg		Fe, Ca, Sr, Cl, Cu, Si, K
p.249	Antebrazo Jesús	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cu, Cl, Mn, Si, K
Grisés				
p.84	Negro de la lanza soldado arrodillado	Pb	Cu	Ca, Fe, Cl, Hg, Sr, K
p.95	Cornisa del escalón donde parado Jesús	Pb	Fe	Ca, Sr, Cl, Cu, Hg, K, Si
p.96	Cornisa del escalón donde parado Jesús	Pb	Fe	Ca, Sr, Cu, Cl, Hg, K
p.97	Escalón donde está parado Jesús	Pb	Fe	Ca, Sr, Cl, Hg, Cu, K
p.98	Escalón donde está parado Jesús	Pb		Sr, Fe, Ca, Cu, Cl, Hg, K
p.99	Escalón donde está parado Jesús	Pb		Fe, Ca, Cl, Sr, Hg, K, Cu
p.104	Nube lado izq. de Jesús	Pb	Fe	Co, K, Ca, Sr, Ni, Cl, Cu, Hg, Si
p.111	Nube lado derecho de Jesús	Pb	Fe, Co	K, Ca, Ni, Sr, Cu, Cl, Hg, Si
p.116	Fondo entre la columna y el porta estandarte	Pb, Fe	Ca	Sr, Co, Cl, K, Cu, Hg, Si
p.118	Fondo entre soldado recostado y soldado de escudo	Cu, Pb, Ca, Fe		Sr, K, Co, Cl, Hg, Ni, Si
p.124	Escalón donde está parado Jesús	Pb	Fe	Sr, Ca, Cl, Hg, Cu, K, Si
p.169	Columna lado derecho	Pb, Fe	Ca	Co, Hg, Sr, K, Cl, Cu, Ni, Mn
p.170	Nube lado derecho de Jesús	Pb	Fe, Co	Ca, K, Sr, Cl, Ni, Hg, Cu, Si
p.171	Fondo a lado de la pierna derecha Jesús	Pb	Co, Fe	K, Ca, Ni, Sr, Cl, Cu, Hg, Si
p.174	Nube sobre soldado de pie lado izq.	Pb, Cu	Ca, Fe	Co, K, Sr, Cl, Hg, Mn, Si
p.221	Nube lado izq. a la altura de la cadera de Jesús	Pb		Fe, Co, Ca, Sr, K, Cl, Cu, Si, Hg, Ni, Mn
p.222	Nube sobre lanza soldado de pie lado izq.	Pb		Fe, Ca, Sr, Cl, Hg, Cu, Co, K, Si, Mn
p.231	Azul del fondo detrás de nube	Pb	Co, Fe, K	Cu, Ni, Ca, Sr, Cl, Hg, Si
p.238	Fondo arriba de soldado de escudo	Pb	Fe, Co, K	Ca, As, Ni, Cu, Sr, Cl, Si
p.242	Nube lado der de Jesús	Pb		Fe, Co, K, Ca, Hg, Cl, Sr, Cu, Ni, Si
p.243	Nube lado der de Jesús	Pb		Sr, Fe, Ca, Hg, Cl, Cu, K, Co, Si, Mn
p.247	Nube a la altura de la muñeca de Jesús	Pb		Fe, Sr, Ca, Cl, Cu, Co, Hg, K, Si, Mn
p.250	Fondo debajo de brazo der de Jesús	Pb		Fe, Ca, Co, Sr, K, Cl, Hg, Cu, Si, Mn
Negros				
p.6	Sandalias Soldado arrodillado	Pb, Cu, As, Fe, Co, K, Bi	Ca, Ni	Sr, Cl, Si, Ti
p.9	Hoja de lanza soldado arrodillado	Pb, Cu	Ca	Fe, Sr, Hg, Cl, K
p.13	Armadura Soldado arrodillado	Cu, Pb, As, Fe, Co	K, Ca	Ni, Zn, Sr, Cl, Si, Ti, Mn, Al
p.19	Casco soldado arrodillado	Pb, Fe	Ca, Hg, Sr	Cu, Mn, Cl, K
p.21	Armadura Soldado arrodillado	Cu, Pb, As, Fe, Co	K, Ca, Hg	Ni, Cl, Sr, Si, Ti, Al
p.31	Sombra del pantalón soldado recostado	Cu, Pb, As, Co, Fe, K, Bi	Ca, Ni	Sr, Cl, Si

p.34	Sombra del pantalón soldado recostado	Cu, Pb, Fe	Co, K, As, Bi, Ca	Ni, Sr, Cl, Hg, Ti, Al
p.35	Sombra del pantalón soldado recostado	Cu, Pb, Fe, As, Co, K	Bi, Ca	Ni, Sr, Cl, Al, Si, Ti
p.46	Sombra de la axila soldado recostado	Cu, Pb	Fe	Co, Ca, K, Sr, Cl
p.51	Sombra manga soldado recostado	Cu, Pb	Fe, As, Co	Ca, K, Sr, Cl, Zn, Ni
p.53	Sombra del pantalón soldado recostado	Cu, Pb	Fe	Ca, K, Co, Sr, Cl, Al, Si
p.55	Sombra del pantalón soldado recostado	Cu, Pb, Fe	Ca	K, Co, Sr, Mn, Cl, Si, Ti
p.67	Negro de la lanza soldado arrodillado	Pb, Fe	Ca, Mn, Cu	Hg, Sr, Cl, K, Si, Ti
p.72	Sandalias Soldado arrodillado	Pb, As, Co, Fe, K, Bi	Cu, Ca, Mo, Ni	Sr, Cl, Si
p.80	Sandalias Soldado recostado	Pb, As, Co, Fe, K, Bi	Ni, Cu, Ca	Sr, Cl, Mn, Si, Ti, Al
p.83	Negro de la lanza soldado arrodillado	Pb, Cu	Fe	Co, Ca, K, Cl, Hg, Sr, Ni, Si
p.123	Punta de lanza soldado de casco	Pb, Cu	Fe, Ca	Sr, Hg, K, Co, Cl
p.131	Ceja soldado recostado	Pb, Fe	Hg, Ca, Sr	Mn, Cu, Cl, K, Ti
p.136	Sombra playera soldado recostado	Pb, Fe	Cu	Ca, Hg, Co, Sr, Cl, K, Si, Ni, Mn
p.150	Hoja de la espada soldado recostado	Pb	Fe	Cu, Hg, Sr, Co, Ca, Cl, K, Si, Ni, Al
p.167	Casco soldado de casco	Pb, Fe	Ca, Hg	Sr, Mn, Cu, Cl, K, Si, Zn, Al
p.241	Fondo junto al estandarte	Pb	Fe, Co	K, Sr, Ca, Hg, Ni, Cl, Cu, Si
Rojos				
p.10	Media soldado arrodillado	Pb	Fe	Ca, Cu, Sr, Cl, Si, K
p.14	Rosado del brazo soldado arrodillado	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cl, Cu
p.18	Rosado nariz soldado arrodillado	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Cl, Mn, Zn, Cu, K
p.39	Rojo manga soldado recostado	Pb, Fe, Hg	Ca	Sr, Mn, Cu, Cl, K, Si
p.40	Decoración roja brazaletes soldado arrodillado	Pb, Cu	Ca	Fe, Cl, Sr, Hg, K, Si
p.106	Estigma pie derecho Jesús	Pb, Fe, Hg		Sr, Ca, Cl, Cu, K, Si, Ti
p.107	Estigma pie izq. Jesús	Pb, Fe, Hg		Ca, Sr, Cl, Cu, K, Si
p.112	Capa soldado de casco	Pb, Hg		Fe, Sr, Ca, Cl, Cu, K
p.113	Capa soldado de casco	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cu, K, Cl, Mn, Ti, Si
p.121	Borla de lanza soldado de casco	Pb	Fe, Ca	Hg, Sr, Cl, Cu, K, Si, Ti
p.127	Capa soldado de casco	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cu, Cl, K, Mn, Si
p.128	Capa soldado de casco	Pb, Hg	Fe, Ca	Sr, Cu, Cl, K, Mn, Si
p.132	Mejilla soldado recostado	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Mn, Cl, Cu, K, Si
p.153	Rojo fondo debajo de soldado recostado	Pb, Fe, Ca		Sr, Mn, K, Cu, Hg, Cl, Si, Ti
p.162	Capa soldado de casco	Pb, Hg		Sr, Ca, Fe, Cl, Cu, K, Si, Mn
p.163	Capa soldado de casco	Pb, Hg	Ca, Fe	Sr, Cu, K, Cl, Mn, Si, Ti
p.205	Manto Jesús	Pb, Fe	Ca	Sr, Hg, Cu, Mn, Cl, K, Si
p.206	Manto Jesús	Pb, Fe	Ca	Sr, Cu, Hg, Cl, K, Mn, Si, Ti
p.209	Manto Jesús	Pb	Ca, Fe	Sr, Cu, Cl, Hg, K
p.210	Manto Jesús	Pb, Fe	Ca	Mn, Sr, Cu, Hg, K, Cl, Si, Ti
p.211	Manto Jesús	Pb	Ca	Fe, Sr, Cu, Hg, Cl, K, Mn
p.212	Manto Jesús	Pb	Ca	Fe, Ca, Sr, Cu, Hg, Cl, K
p.216	Manga soldado de pie lado izq.	Pb, Hg	Ca	Fe, Sr, Cl, Cu, K
p.217	Manga soldado de pie lado izq.	Pb, Ca	Hg	Sr, Fe, Cu, Cl, K, Mn, Si
p.224	Manto Jesús	Pb		Sr, Fe, Hg, Ca, Cu, Cl, Si, K
p.225	Manto Jesús	Pb	Fe	Sr, Ca, Hg, Cl, Cu, K, Mn, Si

p.226	Manto Jesús	Pb, Fe	Ca	Mn, Sr, Hg, Cu, K, Cl, Si, Ti
p.232	Herida del costado Jesús	Pb, Hg	Fe	Ca, Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K, Ti
p.244	Labio de Jesús	Pb, Hg, Fe		Ca, Sr, Cl, Mn, Cu, Si, K
Verdes				
p.1	Ropa soldado arrodillado Pierna izq.	Pb, Cu	Ca, Hg, Fe	Sr, Cl, K
p.8	Ropa soldado arrodillado Pierna izq.	Pb, Cu	Hg, Ca	Fe, Sr, Cl, K
p.12	Ropa soldado arrodillado Pierna der	Cu, Pb, Ca	Fe	Sr, Zn, Hg, Cl, K, Mn, Al, Co
p.16	Armadura soldado arrodillado, hombro izq.	Cu, Pb, As, Fe, Co	K	Ca, Ni, Sr, Cl, Si, Al
p.17	Armadura soldado arrodillado, hombro izq.	Pb	Cu	Fe, Ca, Cl, Sr, K
p.48	Hombro der soldado recostado	Pb, Cu	Fe	Ca, Co, K, Cl, Sn, Sr, Ni, Al
p.49	Hombro der soldado recostado	Pb, Cu		Ca, Fe, Sr, Sn, K, Cl, Co, Al
p.50	Axila soldado recostado (cuarteado)	Cu, Pb, Fe	K, Co, Ca	Zn, Ni, Sr, Cl
p.52	Muslo izq. soldado recostado	Pb, Cu		Fe, Ca, Sr, Cl, K, Si
p.63	Suelo debajo de la planta arriba del soldado recostado	Pb, Cu, Ca	Fe	Sr, Cl, K, Hg, Co
p.85 (verde)	Azul de la pechera soldado arrodillado (deteriorado)	Cu, Pb, As., Fe, Co	K, Bi, Ca, Ni	Zn, Sr, Cl, Mn, Si, Al
p.87	Armadura soldado arrodillado (cadera)	Cu, Pb, As, Fe, Co	K, Ca	Ni, Sr, Cl, Mn, Si, Al
p.90	Armadura soldado arrodillado (hombro der)	Cu, As, Pb, Co, Fe, K	Ni, Ca	Sr, Cl, Si
p.91	Armadura soldado arrodillado (pecho)	Cu, Pb, As, Fe, Co	K, Ca	Ni, Cl, Sr, Si, Al
p.93 Verde)	Azul de la pechera soldado arrodillado (deteriorado)	Cu, As, Pb, Co, Fe, K	Bi, Ni, Ca	Zn, Sr, Cl, Si, Al
p.114	Fondo a lado de la rodilla soldado del escudo	Pb, Cu	Ca, Fe	K, Sr, Cl, Mn, Si
p.117	Mayón soldado del escudo	Pb, Cu	Fe	Ca, Sr, Cl, Hg, Mn, K, Si
p.125	Armadura soldado de casco (pecho)	Cu, Pb	Fe	Ca, Zn, Sr, Cl, K, Si, Al
p.143	Armadura soldado recostado (pecho)	Cu, Pb	Fe	Ca, K, Co, Cl, Sr, Hg, Si
p.144	Armadura soldado recostado (pecho)	Cu, Pb, Fe, Co	K, Ca	Sr, Ni, Cl, Al, Si, Hg
p.145	Armadura soldado recostado (pecho)	Cu, Pb, Fe	Co	K, Ca, Zn, Sr, Ni, Cl, Al, Si
p.147 (verde)	Azul de la pechera soldado recostado	Cu, Pb, Fe, Co, K	As, Ca	Ni, Zn, Sr, Cl, Mn, Al, Si
p.149 (verde)	Azul de la pechera soldado recostado	Cu, Pb, Fe, Co	K, Bi, Ca	Ni, Zn, Sr, Cl, Mn, Al, Si
p.157	Hoja de la plata arriba de soldado recostado	Pb, Ca, Fe	Fe	Sr, Hg, K, Cl, Co, Cu, Sn, Mn, Si
p.159	Hombro soldado del casco	Cu, Pb	Fe	Ca, Zn, Cl, Sr, K, Hg, Si, Mn
p.165	Falda soldado del escudo	Pb, Cu	Ca	Fe, Sr, Cl, Hg, K, Mn, Al, Si
p.166	Falda soldado del escudo	Pb, Cu	Fe, Ca	Sr, Cl, K, Hg, Si, Mn
p.175	Ropa soldado de pie lado izq.	Pb, Cu, Ca		Fe, Sr, K, Hg, Cl
p.176	Ropa soldado de pie lado izq.	Cu, Pb, Fe	Ca	Co, Mn, K, Sr, Cl, Hg, Ni, Si, Al
p.178	Ropa soldado de pie lado izq.	Cu, Pb, Fe		Zn, Ca, Sr, Cl, Hg, Mn, K, Al
p.179	Ropa soldado de pie lado izq.	Pb, Cu, Ca		Fe, Sr, Zn, Cl, Hg, K, Al
p.198	Ropa soldado de escudo (axila)	Cu, Pb, Ca	Fe	Sr, K, Cl, Si, Mn
p.214	Ropa soldado de pie lado izq.	Cu, Pb, Ca	Fe	Sr, Hg, Mn, Ni, K, Cl
p.219	Ropa soldado de pie lado izq.	Pb, Cu		Fe, Ca, Cl, Hg, Sr, K, Al

APÉNDICE 6: SAN GREGORIO





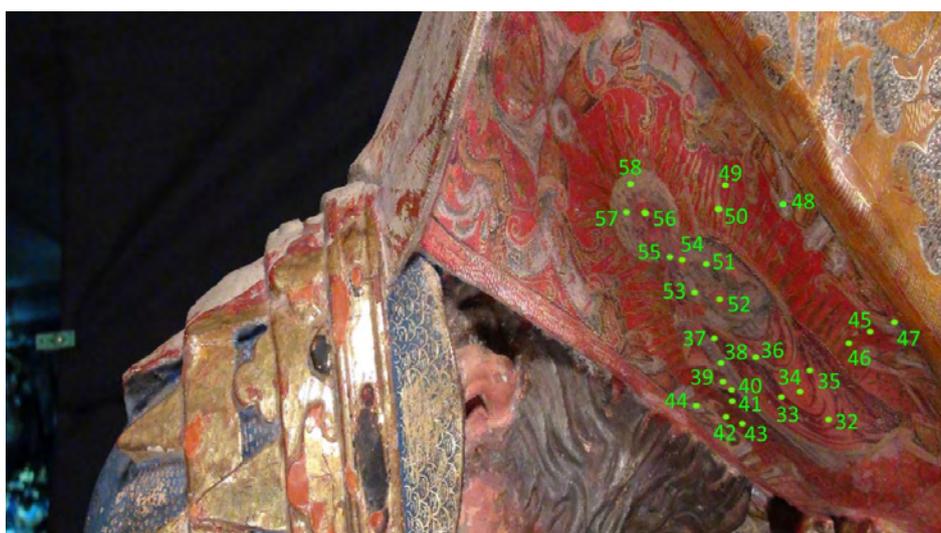


Figura 82: Puntos analizados mediante la técnica de XRF, *San Gregorio*. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM

Tabla 25: Orden de intensidad de los picos característicos de cada elemento en relación con el tubo de Molibdeno de XRF para *San Gregorio*.

Puntos	Descripción	Intensidad Alta	Intensidad Media	Intensidad Baja
Amarillo				
p.16	Adorno del manto	Pb, Hg, Fe	Ca	Sr, Sn, Cl, K Cu, Si, Ti, Au
p.17	Adorno del manto	Pb, Hg	Ca, Co	Sr, Sn, Cl, K, Zn, Si, Fe
p.21	Adorno del manto	Co, Au, Ca	Hg, Pb, As	Sr, K, Ni, Zn, Si, Mn
Azules				
p.38	Manto Imagen del manto	Pb, Hg, Cu, Fe	Ca, Au, Co	Zn, Si, Cl, Si, Ti, Mn
p.41	Manto Imagen del manto	Pb, Hg	Fe, Ca, Au	Zn, Cl, Co, Cu, Si, Ti
p.44	Flor en el manto	Pb, Hg	Fe, Ca, Au, Cu	Zn, Co, Cl, Si, Mn, Ti
p.47	Adorno del manto	Pb, Hg, Cu	Fe, Ca	Sr, Co, Au, Cl, Si, K Mn, Ti
p.48	Adorno del manto	Pb, Hg	Ca, Fe, Au	Cu, Sr, Co, Cl, Si, K Ti, Mn
p.59	Mitra parte alta	Cu, Pb, Fe, Ca	Au	Co, Sr, K, Ti, Si, Cl
p.73	Tela debajo de la corona	Cu, Fe, Pb, Au	Ca	Sr, K, Ti, Co, Si
p.92	Manto	Cu, Pb, Fe, Ca		Co, Sr, K, Si, Ti, Mn, Al, Cl
p.93	Manto	Cu, Pb, Fe	Ca, Co	Sr, K, Si, Cl, Ti, Mn, Al
p.99	Manto	Cu, Pb, Fe	Ca, K, Co	Au, Sr, Si, Mn, Al, Ti
p.119	Adorno de la túnica	Hg, Cu, Pb, Fe, , As, Au, Ca	Co	K, Sr, Si, Mn, Ti, Cl
p.145	Parte de atrás de la corona	Cu, Pb, Fe, Ca	Au, Co, K	Sr, Ti, Si, Mn, Al
Blancos				
p.1	Hojas del libro	Pb, Fe, Ca	Au	Sr, Ti, Cl, Cu, K, Si
p.2	Hojas del libro	Pb, Fe, Ca	Au	Sr, Cl, Ti, Cu, K, Si

p.5	Iglesia	Fe, Pb, Au, Ca		Sr, Cu, Ti, K, Si, Cl
p.23	Adorno del manto	Pb, Hg	Au, Sr	Fe, Cl, Ca
p.29	Adorno del manto	Pb, Fe, Au	Ca	Sr, Cl, K, Si, Ti
p.30	Adorno del manto	Pb, Fe, Ca	Au	Sr, Cl, Cu, K, Ti, P, Si
p.80	Medallón	Fe, Au, Ca, Pb		Sr, Ti, K, P, Si, Cu
p.79	Medallón	Pb, Ca, Au	Fe	Sr, Cu, Cl, K, Si
p.90	Aureola Imagen del manto (santo)	Pb, Hg, Fe, Au, Ca		Sr, Cl, Ti, K, Si, Cu
p.94	Manto	Pb, Fe, Au		Sr, Cl, Ca
p.96	Manto	Ca	Fe	Pb, Au, Sr, K, Zn, Cu, As, Si, Ti
p.108	Túnica	Pb, Fe, Au	Ca, Sr	Ti, Cl, K, Cu, Si
p.115	Adorno de la túnica	Pb, Hg	Fe, Au, Ca	Sr, Cl, Cu
p.118	Adorno de la túnica	Pb, Hg, Fe	Au, Ca, Sr	Cu, Cl, Si, Ti
p.123	Adorno de la túnica	Pb, Fe, Au, Ca		Sr, Cl, Cu, K, Ti, Si
p.134	Adorno del manto	Pb, Hg, Fe	Au, Ca, Sr	Cl, Si, Cu, Ti
p.140	Manto imagen del manto (santo)	Pb, Hg, Fe, Ca, Au		Sr, K, Cu, Ti, Cl, Si
p.143	Manto imagen del manto (santo)	Pb, Hg, Fe, Ca, Au		Sr, Cu, K, Ti, Si, Cl
p.144	Mano santo del manto	Ca	Pb, Sr	Fe, K
Cafés				
p.06.	Adorno túnica	Fe, Pb, Au, Ca		Sr, Cu, Ti, K, Si, Cl
p.11	Adorno túnica	Pb, Fe	Au, Ca	Co, K, Sr, Cl, Si, P, Ti
p.13	Adorno túnica	Fe, Ca	Pb, As	Sr, Ti, K, Si, Cu, Mn, Zn, Al, Cl
Dorados				
p.4	Pasta del libro	Pb, Fe, Au, Ca	Cu	Sr, Ti, P K Si, Cl
p.7	Iglesia	Fe, Pb, Au, Ca		Sr, Cu, Ti, K, Si, Cl, P Al
p.8	Iglesia	Fe, Au, Ca	As, Pb	Sr, Ti, K, P, Cu, Si
p.10	Cúpula de la iglesia	Pb, Fe, Au, Ca		Cl, Mn, Sr, K, Cu, Si, Ti, Al
p.25	Adorno del manto	Fe, Au, Ca	As, Pb	Sr, Ti, Cu, K, Zn, Si, P, Cr, Al
p.27	Adorno del manto	Fe, Ca, Au	As, Pb, Zn	Cu, Sr, Ti, K, Si, P, Al
p.28	Adorno del manto	Fe, Pb, Au, Ca	As	Sr, Ti, K, Cu, Si, P, Cr, Al
p.31	Adorno del manto	Fe, Au, Ca, Pb	As	Sr, Ti, K, Cu, Si, P, Cr, Mn, Al
p.36	Decoración imagen del manto (santo)	Pb, Fe, Au, Ca		Sr, Cl, K, Ti, Si, Cu, P, Cr, Al
p.40	Decoración imagen del manto (santo)	Pb, Fe, Ca, Au		Zn, Ti, K, Cl, Si, Cu
p.43	Halo dorado de la imagen del manto (Santo)	Fe, Au, Ca	As, Pb	Sr, Ti, K, Cu, Si, Al
p.46	Halo dorado de la imagen del manto (Santo)	Fe, Ca, Au	Pb, As	Sr, Ti, K, Cu, Si, Al
p.50	Halo dorado de la imagen del manto (Santo)	Fe, Ca, Au	As, Pb, Sr	Ti, K, Si, Cu, Cr, Al

p.57	Aureola de la imagen del manto (Santo)	Pb, Fe, Au, Ca		Sr, K, Cu, Cl, Ti, Si, Al, Co
p.58	Aureola de la imagen del manto (Santo)	Pb, Fe, Ca, Au		Sr, K, Ti, Cl, Si, Cu
p.60	Corona parte alta	Fe, Au, Ca	As, Pb	Sr, Ti, K, Cu, Si, Cr, Al
p.61	Corona parte alta	Fe, Ca, Au	As, Pb	Sr, Ti, K, Si, Cu, Al
p.62	Corona parte baja	Fe, Au	Ca, As, Pb	Sr, K, Ti, Cu, Si, Cr
p.80	Medallón	Fe, Au, Ca	As, Pb	Sr, Ti, K, P, Si, Cu, Cr, Al
p.78	Medallón	Fe, Au, Ca	As, Pb, Sr	K, Ti, Cr, Cu, Si, Ni, P, Al
p.98	Dedo mano derecha	Fe, Au, Ca	As, Pb	Cu, Sr, Ti, P, K, Si, Cr, Mn, Al
p.100	Manto	Cu, Pb, Fe, Au, Ca		K, Co, Sr, Ti, Si, Al
p.106	Manto	Pb, Fe		Sr, Ca, Cl, Cu, Si
p.107	Túnica	Pb, Fe, Au	Ca	Sr, K, Ti, Si, Cu, Al
p.109	Túnica	Pb, Fe, Au	Ca	Sr, Cr, Cu, Ti, K, P
p.111	Túnica	Fe, Au, Ca	As, Pb, Sr	Ti, K, Si, Cu, Cr, Al
p.113	Doblado	Fe, Au, Ca	As, Pb	Sr, Ti, K, Cu, Si, P, Cr, Al
p.121	Adorno túnica	Fe, Au, Ca	As, Pb	Sr, Ti, K, Cu, Cr, Si, Al
p.117	Adorno túnica	Fe, Au, Ca	As, Pb	Sr, Ti, K, P, Cr, Cu, Si
p.126	Adorno túnica	Pb, Fe, Au	Ca	Sr, Cl, Ti, Cu, Si, K, Al
p.129	Adorno del manto	Fe, Au, Ca	Pb, As	Sr, Ti, K, Cu, P, Si
p.130	Rallos detrás del santo del manto	Fe, Ca, Au	As, Pb	Sr, Ti, K, P, Si, Cu, Cr
p.139	Caja de la imagen del santo en el manto	Pb, Cu, Ca, Fe	Au	Sr, K, Cl, Mn, Si, Ti
Encarnaciones				
p.52	Mano Santo que adorna el manto	Pb, Hg, Fe	Ca, Au	Sr, Cl, Cu, Si, K
p.66	Nariz	Pb, Hg		Ca, Fe, Cl, Sr, Si, P
p.70	Nariz	Pb, Hg		Fe, Ca, Cl, Sr, Cu, P, Mn, Si, K
p.71	Sien derecha	Pb, Fe	Hg, Ca	Sr, Co, Cl, Cu
p.72	Cuenca del ojo derecho	Pb, Hg		Cu, Fe, Cl, Sr, Ca, P
p.91	Frente santo adorno del manto	Pb, Hg	Ca	Fe, Cl, Au, Sr, Cu, K, Mn, Si
p.137	Nariz	Hg, Pb, Fe	Au	Sr, Ca, Cl, Si
Grises				
p.51	Espada del santo que adorna el manto	Pb, Fe, Ca, Hg, Au		Cu, Sr, K, Ti, Cl, Si, Mn
p.95	Manto	Pb, Fe	Au	Sr, Ca, Cl
p.103	Parte trasera del manto	Pb, Fe	As	Ca, Sr, Cl, Cu, Mn, Si
p.105	Parte trasera del manto	Pb, Fe		Ca, Sr, Cl, Cu, Si
p.132	Adorno del manto	Pb, Hg, Fe	Cu, Au	Ca, Sr, K, Si, Cl
Naranjas				
p.22	Adorno de la túnica	Hg, Pb, Fe	Ca	Sr, Cl, K, Si
p.101	Manto	Fe, Pb	Ca, As	Sr, Ti, Mn, Cu, Si

p.104	Manto	Fe, Pb, Ca	As, Sr	Ti, K, Cu, Mn, Si
Negros				
18.negro	Adorno de la túnica	Pb, Hg, Cu, Fe, Ca	Co	Sr, Zn, K, Si, Cl, Mn, Ti
19.negro	Adorno de la túnica	Pb, Hg	Fe	Sr, Ca, Cl, Cu, Si, Mn, K
20.negro	Adorno de la túnica	Pb, Hg, Cu, Fe	Ca, Co	Sr, Zn, K, Si, Cl, Mn, Ti
24.negro	Adorno de la túnica	Fe, Cu, Au, Ca	Pb, As, Zn	Sr, K, Ti, Si, Cl
26.negro	Adorno de la túnica	Fe, Cu, Au, Ca	As, Pb	Zn, Sr, K, Ti, Cl, Si
37.negro	Pliegue del manto del Santo del manto	Pb, Hg, Fe	Ca, Au	Sr, Cl, Cu, K, Si, Ti, Mn
53.negro	Santo en el manto	Pb, Hg, Fe, Au, Cu	Ca	Sr, Co, Cl, K, Si, P, Ti
55.negro	Barba del Santo en el manto	Pb, Hg	Ca, Fe	Sr, Au, Cl, Co, Si, P, Ti
63.negro	Base de la corona	Cu, Fe, Au	Ca, Pb, As	Sr, K, Ti, Cl, Si
65.negro	Base de la corona	Cu, Fe, Au, Ca	Pb, As	Sr, K, Ti
67.negro	Ceja	Pb, Fe, Hg	Ca	Mn, Cl, Sr, Cu, K, Si
68.negro(67)	Ceja	Pb, Fe, Hg	Ca	Mn, Cl, Cu, Si, K
74.negra	Manto	Hg, Pb, Fe, C, Au	Sr	Cl, K, Si, Ti, P, Co
76.negro	Barba adorno del manto (santo)	Pb, Hg	Fe, Ca	Au, Sr, Cl, Si, P, K
77.negro	Barba	Pb, Ca	Fe	Sr, Hg, Cl, Si, K, Ti
88.negro	Barba	Pb, Hg	Fe	Sr, Cl, K, Si, Ti, Co, P
89.negro	Negro del medallón	Cu, Fe, Au, Ca	Pb, As, Sr	Sr, Cl, Si, Co, P, K
97.negro	Negro de la mano derecha	Cu, Fe, Au, Ca	Pb, As, Sr	K, Ti, Mn, Si, Cl
102.negro	Manto	Pb, Fe		Sr, Ca, Cl, Cu, Mn, Si
122.negro	Adorno de la túnica	Cu, Pb, Fe, As, Hg, Ca, Co	Au, K	Sr, Ni, Si, Mn, Ti, Cl
124.negro	Adorno de la túnica	Pb, Fe, Au	Ca	Sr, Cl, Ti, Si, Cu, P, K
133.negro	Adorno del manto	Fe, Hg, Pb, Au, Ca	As, Cu	Sr, K, Ti, Si, P
136.negro	Gorro del santo en el manto	Pb, Hg, Fe, Ca	Au	Sr, Cu, K, Cl, Si, Ti
138.negro	Barba del Santo en el manto	Pb, Hg, Fe	Au	Ca, Sr, Cl, Cu, Si, Ti
142.negro	Túnica del santo en el manto	Pb, Cu, Hg, Fe	Ca, Co	Au, K, Sr, Cl, Si, Ni, Mn
Restauración				
p.3	Libro	Ca, Fe, Pb		Sr, K, Ti, Si, Au, Cu
Rojo				
09.rojo	Cúpula de la iglesia	Fe, Au	Ca	Sr, Cl, Cu, K, Mn, P, Ti, Si, Al
12.rojo	Campana de la iglesia	Ca	Pb, As	Sr, Ti, K, Si, Cu, Mn, Al, Cl
14.rojo	Fondo túnica	Pb, Fe	As, Sr, Ca	Co, Au, Si, Cu, K, Mn, Ti
15.rojo	Fondo túnica	Pb, Fe, Ca	As, Sr	Sr, K, Ti, Au, Si, Mn, Al
32.rojo	Manto Santo del manto	Pb, Fe, Au	Ca	Sr, Cl, K, Ti, Cu, Si, Co, Al, Mn
33.vino	Manto Santo del manto	Hg, Fe	Au, Ca, Sr	Cl, Cu, K, Si, Co, Ti, Mn, Al

34.rojo	Manto Santo del manto	Hg, Fe	Au, Ca, Sr	Cl, K, Ti, Si, Cu, Co, Mn, Al
35.vino	Manto Santo del manto	Hg, Fe	Au, Ca, Sr	Co, Cl, Cu, K, Si, P, Al, Mn, Ti
39.rojo	Manto Santo del manto	Hg, Fe, Au	Ca, Sr	Cl, Si, K, Co, Ti
42. rojo	Detrás del Santo del manto	Pb, Fe, Au, As	Ca	Sr, Si, Cl, Ti, K, Al
45.rojo	Detrás del Santo del manto	Pb, Fe, Au, As	Ca, Sr	Si, Cl, K, Ti
49.rojo	Detrás del Santo del manto	Pb, Fe, Au, As	Ca, Sr	Si, Cl, K, Ti
54.rojo	Cuello del Santo del manto	Hg, Fe	Au, Ca	Sr, Cl, Cu, Si, K, Ti
56.rojo	Frente Santo del manto	Hg, Fe	Au, Ca, Sr	Cl, Si, K, P
64.rojo	Corona	Ca	Pb, As, Sr	Au, Ti, K, Si, Cu, Mn, P, Al
69.rojo	Nariz	Hg	Ca, Fe	Sr, Cl, Cu, P, Co, K, Si
75.rojo	Adorno del manto en frente lado derecho	Pb, Fe, Cu, Ca, Au		Sr, K, Ti, Si, Cl, P
81.negro	Labio inferior	Hg		Fe, Sr, Cl, Ca, Cu, Si
82. rojo	Pie imagen del manto(santo)	Hg, Fe, Au	Ca	Sr, Cl, Cu, K, Si, Al
87.rojo	Resplandor en el santo del manto	Pb, Fe, Au, As	Ca, Sr	Si, K, Cl, Ti
116.rojo	Adorno de la túnica	Fe, Pb, Au	As, Ca, Sr	Cu, K, Ti, Si, P, Cl
120.rojo	Adorno de la túnica	Fe, Pb, Au, As		Ca, Sr, Co, Si, Ti, Cu, K
125.rojo	Adorno de la túnica	Ca, Pb	As, Sr	Ti, K, Au, Cu, Si, Al
127.rosa	Adorno de la túnica	Hg, Fe	Au, Ca	Sr, Co, Cl, Ti, Cu, K, Si, P
128.rojo	Adorno de la túnica	Pb, Fe, Au, As	Ca	Sr, Co, Si, Cu, P, Ti, Cl, K
131.rojo	Rojo del manto	Pb, Fe, Au	As, Ca, Sr	Si, Cu, P, K, Al
135.rojo	Aureola del santo en el manto	Hg, Pb, Au, As	Ca	Sr, Ti, Cu, P, Si, Cl
141.rojo	Mano del santo en el manto	Pb, Fe	Au	Sr, Ca, Cl, Cu, Si
Verde				
p.83	Manto del santo del manto	Pb, Cu, Hg, Ca, Fe	Au	Sr, K, Cl, Si, Ti, Al
p.84	Manto del santo del manto	Pb, Hg, Fe, Ca, Cu, Au		Sr, K, Cl, Si, Ti, Al
p.85	Manto del santo del manto	Pb, Hg, Cu, Ca, Fe	Au, Sr	K, Cl, Si, Ti
p.86	Manto del santo del manto	Pb, Hg, Fe, Ca, Au, Cu		Sr, K, Cl, Sn, Ti, Si, Al
p.110	Túnica	Pb, Cu, Fe, Au	Ca	Sr, Cl, K
p.112	Túnica	Pb, Cu, Fe, Ca	Au	Sr, Cl, K, Si, P
p.114	Franja verde de la túnica	Pb, Cu, Fe, Ca, Au		Sr, Cl, K, Ti, P

APÉNDICE 7: SAN AGUSTÍN





Figura 83: Puntos analizados mediante la técnica de XRF, *San Agustín*. Fotos por D. Ma. Aguilar IF- UNAM

Tabla 26: Orden de intensidad de los picos característicos de cada elemento en relación con el tubo de Molibdeno de XRF para *San Agustín*.

Puntos	Descripción	Intensidad Alta	Intensidad Media	Intensidad Baja
Amarillos				
p.102	Adorno del manto del lado del libro	Pb, Hg, Fe, As, Au	Ca	Cl, Cu, K
p.107	Adorno del manto del lado del libro	Pb, Hg, Fe, As, Au	Ca	Cl, Cu, K
p.112	Manto costado derecho	Pb, Hg, As, Fe		Ca, Cl, Au, Cu
p.122	Manto altura de la manga adorno	Pb, Hg	Fe	Ca, Cu, Cl, K

Azules				
53.azul	Adorno cerca del medallon	Hg, Cu, Pb, Fe, As, Au	Ca	Zn, K, Co, Si, Cl, Ti
58.azul	Adorno de la manto por la parte de enfrente	Cu, Hg, Pb, Fe, Au	Ca	Zn, Co, Cl, K, Si, Ti
63.azul	Adorno cerca del medallon	Cu, Hg, Pb, Fe	Zn, Ca	Co, Ti, K, Cl
66.azul	Adorno cerca del medallon	Cu, Pb, Hg, Fe	Ca	Zn, Co, Ti, K, Si, Cl
73.azul	Adorno de la manto por la parte de enfrente	Cu, Pb, Hg, Fe	Au, Ca	Zn, Cl, K, Si, Co, Ti
75.azul	Adorno de la manto por la parte de enfrente	Cu, Hg, Pb, Fe, Au	Ca, As, Zn	K, Cl, Si, Ti
100.azul	Adorno del manto lado izq cerca del libro	Cu, Fe, Hg, Pb, Ca	Au	As, Zn, K, Ti, Si, Cl
105.azul	Manto altura de la manga, parte inferior, adorno	Cu, Hg, Pb, Fe, Au	Ca, As	Zn, Si, K
113.azul	Manto altura de la manga, parte inferior, adorno	Cu, Pb, Hg, Fe		Zn, Ca, Co, Cl
125.azul	Parte trasera de la mitra	Cu, Hg, Pb, Fe		Zn, Ca, Co, Cl
131.azul	Parte trasera de la mitra	Pb, Cu, Fe	Ca	Co, Cl, Si, K, Hg, Ti
132.azul	Parte trasera de la mitra	Cu, Pb, Fe	Ca	Zn, Co, K, Ti, Cl, Si
133.azul	Parte trasera de la mitra	Pb, Cu, Fe	Ca	Co, Cl, Si, Ti, K
134.azul	Manto altura de la manga adorno	Cu, Pb, Fe, Ca		Co, K, Cl, Si, Ti
149.azul	Túnica azul parte inferior	Pb, Fe, Au	Ca	Cl, Co, Ti, Cu, Zn, K
154.azul	Túnica azul parte inferior	Pb, Fe, Au	Ca	Co, Cl, K, Cu, Ti
155.azul	Túnica azul parte inferior	Pb, Fe, Au	Ca	K, Co, Cl, Cu, Si, Ti
Blancos				
p.1	Blanco hojas del libro	Pb, Fe, Au, Ca		Cl, Cu, Ti, K
p.6	Blanco hojas del libro	Pb, Fe, Au	Ca	Cu, Cl, Ti, K
p.30	Túnica	Pb, Fe	Au	Ca, Cl
p.31	Túnica	Pb	Au, Fe	Ca, Cl
p.32	Túnica	Pb	Au	Fe, Ca, Cl
p.33	Túnica	Pb	Fe, Au	Ca, Cl
p.36	Blanco manto parte inferior	Pb, Fe	Au, Ca	Cl, Ti, Si, K
p.37	Blanco manto parte inferior	Pb, Fe, Au		Ca, Cl, Cu, Si, Ti
p.39	Blanco manto parte inferior	Pb, Fe	Au, Ca	Cl, Cu, Si, Ti
p.42	Manto parte inferior, por la parte interior	Pb, Fe, Au		Ca, Cl, Cu, Si, Ti
p.48	Manga mano derecha	Pb, Fe	Ca, Au	Cl, Cu, K, Ti
p.49	Manga mano derecha	Pb, Fe	Au, Ca	Cl, K, Ti, Si
p.56	Adorno del manto por la parte de enfrente	Pb, Hg, As, Fe, Au		Ca, Cl, Si, Cu
p.61	Adorno del manto por la parte de enfrente	Pb, Fe, Hg	Au, Ca, As	Cl, Cu, Si, Ti, K
p.69	Adorno del manto por la parte de enfrente	Pb, Fe, Au, Hg	Ca	Cl, Cu, K, Si, Ti
p.74	Adorno del manto por la parte de enfrente	Pb, Hg, Fe, As, Au, Cu	Ca	Cl, Si, Ti, K
p.80	Adorno de la mitra	Pb, Au	Fe	Cl, Ca, Cu, Si
p.82	Adorno de la mitra	Pb, Au	Fe	Cl, Ca, Cu, Si

p.103	Adorno manto debajo del libro	Pb, Hg, Cu	Fe, Au, Ca	Cl, Si, Ti
p.106	Adorno manto debajo del libro	Pb, Hg, As	Fe, Au, Ca	Cu, Cl, Si
p.114	Manto altura de la manga, parte inferior, adorno	Pb, Hg, As	Fe	Ca, Cu, Cl, Au, Si
p.118	Manto costado izquierdo parte inferior	Pb, Fe		Cu, Ca, Hg, Cl, Si
p.120	Adorno del manto	Pb	Fe	Ca, Hg, Cl, Cu, Si
p.126	Manto altura de la manga adorno	Pb, Hg, As, Au, Fe	Cu	Ca, Cl
p.128	Manto parte trasera superior lado izq.	Pb, Fe	Ca	Cl, Si
p.130	Adorno del manto	Pb	Fe	Cl, Ca, Hg
p.137	Manto parte trasera superior lado der	Pb, Fe	Au	Ca, Cl, Si
p.138	Manto parte trasera superior lado der	Pb, Fe		Ca, Cl
p.140	Costado derecho sin dorar	Pb, Fe		Ca, Cl
p.144	Manto parte trasera media lado der	Pb, Fe	Au, Ca	Cl, Si
p.146	Manto parte trasera inferior lado der	Pb	Fe	Ca, Cl, Cu, Si
Dorados				
p.2	Pasta del libro	Pb, Fe, Au	Ca	Cl, Cu, K, Ti, Cr
p.4	Pasta del libro	Pb, Fe, Au	Ca	K, Ti, Cl, Cu, Cr
p.7	Hojas del libro	Fe, Au, Ca	Pb, As	Cu, P, Cr, K, Si
p.14	Cornisa techo iglesia	Fe, Au, Ca	As, Pb	K, Cu, P, Si, Cr
p.16	Campana iglesia	Fe, Ca, Au	Pb	As, K, P, Ti, Cr, Cu, Si
p.19	Joya mano derecha	Fe, Au, Ca	Pb, As	K, Ti, Cu, Cr, Si
p.24	Dorado dedo índice	Fe, Ca		Ti, K, P, Cu, Si, Cr
p.29	Corazón	Fe, Ca, Au		As, Pb, Ti, P, K, Cr, Si, Cu
p.44	Manto parte interna al inferior	Pb, Cu, Fe, Ca	Au	Cl, K
p.47	Manto parte interna al inferior	Fe, Ca, Au	As, Pb	K, Cu, P, Si, Cr
p.52	Manto cerca del brazo, por la parte interior	Fe, Au, Ca	Pb	Ti, K, Cu, P, Si
p.83	Adorno de la mitra	Fe, Au	Ca, As, Pb	Ti, K, Cu, Si, Cr
p.88	Dorado parte baja de la mitra	Fe, Ca, Au	As, Pb	K, Ti, P, Si, Cu, Cr
p.115	Manto altura de la manga	Fe, Au, Ca		As, Pb, K, Ti, Cu, P, Cr, Si
p.135	Manto parte trasera superior lado der	Fe, Ca, Au		Pb, Ti, P, K, Cu, Cr
p.143	Manto parte trasera superior lado der	Fe, Pb, Ca, Au		Ti, K, P, Cu, Si, Cl
p.148	Manto parte trasera inferior lado der	Fe, Au, Ca, Pb		As, Ti, K, Si, Cu
p.150	Túnica azul parte inferior	Pb, Au, Fe, Ca		Cu, K, Cl, P, Ti
p.151	Túnica parte inferior	Fe, Pb, Ca, Au		Mn, Ti, K, Cu, Si, P
p.152	Túnica parte inferior	Fe, Pb, Au	Ca	Mn, Cu, Ti, K, P, Si
p.153	Túnica parte inferior	Fe, Pb, Au, Ca		Mn, Cu, K, Ti, Cl, Cr, P, Si
Encarnaciones				
p.85	Mejilla izquierda	Pb, Hg		Fe, Ca, Cu, Si
p.91	Pómulo izquierdo	Pb, As, Hg	Ca, Fe	Cl, Cu, Si
p.94	Pómulo derecho	Pb, Hg	Fe, Ca	Cl, Cu
p.95	Pómulo derecho	Pb, Hg		Fe, Ca, Cl, Cu
Grisés				
p.10	Ventana iglesia	Pb, Cu, Fe	Co, Ca, Au	K, Ni, Si, Cl, Ti

p.11	Ventana iglesia	Pb, Cu, Fe	Co, Ca, K	Au, Ni, Si, Cl
p.12	Iglesia	Pb, Fe, Cu, Au	Ca, Co	K, Cl, Si, Ni
p.13	Iglesia	Pb, Cu, Fe	Co, Au, Ca	K, Ni, Cl, Si
p.22	Gris dedo medio	Fe, Au, Pb, Ca	As	K, Mn, Cu, Co, Ti, Si, Cl
p.27	Dorso mano derecha	Fe, Pb, Au, Ca	As	Mn, K, Co, Ti, Cu, Si
p.84	Gris mitra, parte inferior	Pb, Au, Fe	Ca	Cu, Cl, Co, Si, Ti
p.121	Manto altura de la manga	Pb, Cu, Fe, As, Co	Ca	K, Ni, Si, Mn, Ti, Cl
Negros				
p.18	Joya mano derecha	Fe, Cu, Au, Ca	As, Pb	Ti, K, Cr, Si
p.20	Joya mano derecha	Fe, Cu, Au, Ca	As, Pb	K, Ti, Cr, Si
p.21	Joya mano derecha	Fe, Au, Ca	Pb	As, K, Cu, Ti, Mn, Si, Cr
p.23	Joya mano derecha	Fe, Ca	Au, Pb	As, K, Cu, Si
p.79	Adorno de la mitra	Cu, Fe, Au, Ca	Pb	As, K, Zn, Ti
p.81	Adorno de la mitra	Fe, Cu, Au, Ca	Pb, As	K, Ti, Zn
p.86	Ceja	Pb, Fe	Hg	Ca, Mn, Cu, Cl, Si
p.87	Pestaña	Pb, Hg	Fe, Ca	Mn, Cu, Cl, Si, K
p.89	Barba	Pb	Fe, Ca, Hg	Cl, Cu
p.92	ceja izquierda	Pb	Hg, Fe, Ca	Cl, Si
p.93	Ceja derecha	Pb, Fe	Ca, Hg	Mn, Cu, Cl, K, Si, Ti
p.96	Barba	Pb, As	Hg, Fe	Ca, Cu, Cl, K, Si
p.97	Ojo derecho	Pb	Hg, Fe, Ca	Cl, Mn
p.98	Parte negra del medallón	Cu, Fe, Au, Ca	Pb, As	Zn, K, Ti, Si, Hg, Cl
p.99	Parte negra del medallón	Cu, Fe, Au, Ca	As, Pb	K, Ti, Cr, Si
Morados				
28.morad do	Corazón	Pb, Au, Fe	Ca	Cu, Cl, K, Si
Rojos				
p.3	Pasta del libro	Fe, Ca, Au	Pb	As, Ti, K, Cu, Cr
p.5	Pasta del libro	Fe, Ca, Pb	Au, As	Ti, K, Cu, Si
p.8	Puerta iglesia	Pb, Fe	Au	Ca, Cl, Cu, K
p.9	Puerta iglesia	Pb, Fe		Au, Ca, Cu, Cl, K
p.15	Cornisa techo iglesia	Ca, Fe	K	Si, Ti, P
p.17	Cornisa techo campanario	Ca, Fe		K, Si, Ti
p.25	Dorso mano derecha	Ca, Fe	As	K, Pb, Ti, Si, Au
p.26	Dedo índice mano derecha	Ca, Fe		K, Ti, Si
p.34	Túnica	Fe, Ca	Pb, As	Au, Ti, K, Zn, Si, Cu
p.35	Túnica	Fe, Ca	Pb	Ti, K, Au, Zn, Si, Cu
p.38	Manto parte inferior	Fe, Pb, Au, Ca	As	Ti, K, Cl, P, Cu, Si
p.40	Manto parte inferior	Fe, Au, Pb, Ca	As	Ti, Cr, Cl, K, Cu, P, Si
p.41	Manto parte inferior, por el frente lado der	Fe, Au, Ca, Pb	As	Ti, K, Cu, Si, Cl
p.45	Manto parte inferior, por la parte interior	Fe, Ca	Au, Pb, As	K, Ti, Cu, Si
p.50	Manga mano derecha	Fe, Ca	Au	Pb, As, K, Ti, Si, Cu, P

p.55	Adorno cerca del medallón	Fe, Hg, Pb, Au	As, Ca	Ti, K, Si
p.62	Adorno de la túnica por la parte de enfrente	Hg, Pb, Fe, Au, As	Ca	Zn, Si, K, Cu, Ti, Cl
p.64	Adorno de la túnica por la parte de enfrente	Hg, Pb, As, Fe	Ca	Au, Zn, Cu, Si, K
67.rojo	Adorno de la túnica por la parte de enfrente	Hg, Pb, As, Fe	Ca, Au	Zn, Co, Si, Cu, K
p.77	Adorno de la túnica por la parte de enfrente	Fe, Hg, Pb, Ca, Au	As	Zn, K, Ti, Si, Cl, Cu
78.rojo	Adorno de la túnica por la parte de enfrente	Hg, Pb, Fe, Au, As	Ca	Zn, Cu, Si, Co, K, P, Ti
p-90	Labio inferior	Pb, Hg, As	Fe	Ca, Cl, Cu, Si
p.104	Túnica parte interior lado del libro	Hg, Fe, Pb, Ca, Au	As	Zn, Ti, K, Si, Cu
p.109	Túnica parte interior lado del libro	Fe, Hg, Pb, Au, Ca	As	K, Zn, Ti, Cu
p.111	Manto costado derecho parte inferior	Hg, Pb, As, Fe		Ca, Au, Zn, Si, Cu
p.117	Manto costado derecho parte inferior	Fe, Pb	Ca	Cl, Ti, Cu, Si
p.119	Manto costado derecho parte superior	Fe, Pb, Ca	As	Ti, K, Cu, Si
p.123	Manto altura de la manga adorno	Hg, Pb, As, Fe		Ca, Au, Zn, Cu, Si
p.127	Manto parte trasera superior lado izq.	Fe, Pb, Ca	As	Cl, K, Ti, Si, Cu, Zn
p.129	Adorno del manto espalda lado derecho	Fe, Pb, Ca	As	Ti, Cl, Cu, K, Si
p.136	Manto parte trasera superior lado der	Pb, Fe	Au, Ca	Cl, K, Ti, Si
p.139	Manto parte trasera superior lado der	Pb, Fe		Ca, Cl, Si, Ti
p.141	Manto parte trasera media lado der	Fe, Pb	Ca	Cl, Ti, Cu, Si, K
p.142	Manto parte trasera media lado der	Fe, Pb, Ca		Ti, Cl, K, Cu
p.145	Manto parte trasera media lado der	Fe, Pb	Ca	Ti, K, Si
p.147	Manto parte trasera media lado der	Fe, Pb, Au	Ca	Cu, Ti, Si, Cr
Verdes				
p.43	Manto parte inferior, por la parte interior	Pb, Cu, Fe, Ca	Au	Cl, K, Si
p.46	Manto parte media, por la parte interior	Pb, Cu, Fe, Ca	Au	Cl, KS, i
p.51	Manto cerca del brazo, por la parte interior	Pb, Cu, Fe, Ca	Au	Cl, K, Si
p.54	Adorno cerca del medallón	Pb, Hg	Fe, Au, Ca	Cl, Cu, K, Si
p.57	Adorno cerca del medallón	Pb, Hg, Cu, Fe, Au, As, Ca		Cl, K, Si
p.59	Adorno del manto por la parte de enfrente	Hg, Pb, Cu, Ca, Fe, As, Au		Zn, Cl, K, Si
p.60	Adorno del manto por la parte de enfrente	Pb, Hg	Fe, Ca, Au	Cl, Cu, Si
p.65	Adorno del manto por la parte de enfrente	Hg, Pb, Cu, As, Ca, Fe		Au, K, Cl, Si
p.68	Adorno del manto por la parte de enfrente	Hg, Pb, Cu, As, Ca, Au, Fe		K, Cl, Si
p.70	Adorno del manto por la parte de enfrente	Pb, Hg, Cu, Fe, Au, Ca, As		Cl, K, Si, Ti
p.71	Adorno del manto por la parte de enfrente	Pb, Fe, Hg, Au, Ca		K, Si, Cl, Cu, Ti
p.72	Adorno del manto por la parte de enfrente	Pb, Fe, Hg, Au	Ca	Cl, K, Cu, Si, Ti
p.76	Adorno del manto por la parte de enfrente	Cu, Pb, Hg, Fe, Au, Ca, As		Cl, K, Si

p.101	Adorno del manto lado del libro	Hg, Pb, Fe, Cu, Au, Ca, As		Zn, K, Cl, Si, Ti
p.108	Adorno del manto lado del libro	Fe, Hg, Pb, Ca, Cu, Au, As		K, Ti, Zn, Cl, Si
p.110	Manto costado derecho parte inferior	Hg, Pb, Cu, As, Ca, Fe		Cl, K
p.116	Manto altura de la manga	Pb, Cu, Fe, Co	Au, Ca, K	Si, Ni, Mn, Ti
p.124	Manto altura de la manga adorno	Pb, Cu, Hg, Ca, As, Fe	Au	Zn, Cl, K, Si

